

**Universidad Carlos III de Madrid**

**Escuela Politécnica Superior**

Departamento de Ingeniería térmica y de fluidos

Área de Ingeniería térmica



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

## **Montaje y Ensayo de Bombas Manuales de Pistón**

Autor: IGNACIO ESPERÓN RODRÍGUEZ

Director: ULPIANO RUIZ-RIVAS HERNANDO

**Ingeniería Técnica Industrial Mecánica**

**Madrid 21 de Mayo de 2012**

“One thing you must know for sure is one day we all fall”

*First Wound - WE ALL FALL (2005)*

<b><u>1. INTRODUCCIÓN</u></b> .....	5
1.1. Centro de ensayos para tecnologías del agua de la Universidad Carlos III de Madrid .....	5
1.2. Referencia a proyectos anteriores .....	7
1.3. Objeto del proyecto Caracterización de bombas manuales: .....	7
<b><u>2. ANÁLISIS PRELIMINAR</u></b> .....	10
2.1. Criterios estándar .....	10
2.2. Criterios aportados en este proyecto .....	11
2.3. Principios y estructura del análisis .....	11
2.4. Análisis de bomba manual Afridev .....	12
2.4.1. Obtención de los equipos .....	13
2.4.2. Inspección previa .....	13
2.4.2.1. Empaquetamiento .....	13
2.4.2.2. Estado de la bomba .....	16
2.4.2.3. Literatura entregada .....	19
2.4.2.4. Herramientas suministradas .....	20
2.4.3. Medidas y consideraciones previas .....	22
2.4.3.1. Pesos y materiales .....	22
2.4.3.2. Estudio dimensional .....	22
2.4.3.3. Análisis ergonómico .....	26
2.4.3.4. Aspectos de ensamblaje .....	26
2.4.3.5. Comprobaciones adicionales .....	27
2.4.4. Ingeniería .....	27
2.4.4.1. Materiales y fabricación .....	27
2.4.4.2. Capacidad de transferencia a países en desarrollo .....	28
2.4.4.3. Facilidad de montaje, mantenimiento y reparación .....	29
2.4.4.4. Resistencia a contaminación y abuso .....	30
2.4.4.5. Riesgos potenciales derivados del manejo .....	31
2.4.4.6. Intercambiabilidad de componentes .....	32
2.5. Análisis de bomba manual Malda .....	32
2.5.1. Obtención de los equipos .....	32
2.5.2. Inspección previa .....	32
2.5.2.1. Empaquetamiento .....	32
2.5.2.2. Estado de la bomba .....	35
2.5.2.3. Literatura entregada .....	40
2.5.2.4. Herramientas suministradas .....	40
2.5.3. Medidas y consideraciones previas .....	41
2.5.3.1. Pesos .....	41
2.5.3.2. Estudio dimensional .....	41
2.5.3.3. Aspectos de ensamblaje .....	44

2.5.4. Ingeniería.....	45
2.5.4.1. Materiales y fabricación.....	45
2.5.4.2. Capacidad de transferencia a países en desarrollo .....	46
2.5.4.3. Facilidad de montaje, mantenimiento y reparación.....	47
2.5.4.4. Resistencia a contaminación y abuso .....	49
2.5.4.5. Riesgos potenciales derivados del manejo .....	50
2.5.4.6. Intercambiabilidad de componentes .....	50
<b><u>3. DISEÑO DE BANCO DE ENSAYOS</u></b> .....	51
3.1. Objetivos.....	51
3.2. Requerimientos y características necesarias .....	51
3.3. Diseño y distribución del laboratorio .....	54
3.4. Diseño del banco de ensayos para bomba Afridev .....	56
3.4.1. Planos y especificaciones de la instalación .....	56
3.4.2 Instalación y mantenimiento .....	57
3.4.2.1. Estructura de sujeción .....	57
3.4.2.2. Sistema de ascensión.....	58
3.4.2.3. Sistema de presión .....	58
3.4.2.4.Cuerpo de la bomba .....	59
3.4.2.5. Circuito de retorno .....	60
3.4.3. Presupuesto .....	61
<b><u>4. PUESTA EN MARCHA DEL BANCO DE ENSAYOS DE LA BOMBA AFRIDEV</u></b> .....	63
4.1. Objetivos.....	63
4.2. Principios y requerimientos aplicados.....	63
4.2.1. Sistema de ascensión de agua .....	64
4.2.2. Sistema de bombeo .....	65
4.2.3. Circuito de presurización.....	66
4.2.4. Circuito de retorno de agua.....	67
4.2.5. Anclajes .....	68
4.2.6. Equipos auxiliares .....	70
4.3. Ensayo 1. Test de descarga .....	71
4.3.1. Descripción del ensayo de “Test de descarga” .....	71
4.3.2. Resultados obtenidos .....	72
4.3.3. Análisis de resultados .....	72
4.3.4. Caudal máximo .....	72
4.4. Ensayo 2. Caracterización y calibración del sistema de presión.....	73
4.4.1. Descripción del ensayo .....	73
4.4.2. Pérdida de carga en el circuito de presión .....	74
4.4.2.1. Principios aplicados.....	74
4.4.2.2. Descripción del flujo.....	76

4.4.2.3. Descripción de los elementos .....	77
4.4.2.4. Cálculo y evaluación de la pérdida de carga .....	79
4.4.3. Cálculo de presión teórica $P_T$ .....	82
4.4.3.1. Simulación de altura de columna de agua .....	83
4.4.3.2. Simulación de esfuerzo del operario .....	84
4.4.3.3. Curva de par teórico .....	87
4.4.4. Calibración del sistema .....	88
4.4.5. Medida de presión real $P_R$ .....	88
4.4.6. Comparación de resultados .....	89
4.5. Ensayo 3. Simulación del peso de la varilla .....	91
4.5.1. Descripción del ensayo .....	91
4.5.2. Principios .....	91
4.5.3. Potencia creada por el peso de la varilla .....	92
4.5.4. Aplicación práctica .....	95
4.5.4.1. Diferencial de caudal .....	95
4.5.5. Simulación alternativa: Sobre-presión .....	97
4.6. Ensayo 4. Relación esfuerzo realizado por el usuario respecto del caudal útil obtenido .....	99
4.6.1. Influencia del tiempo de bombeo .....	99
<b><u>5. CONCLUSIONES Y CONTINUACIÓN</u></b> .....	103
<b><u>6. REFERENCIAS UTILIZADAS</u></b> .....	105
<b><u>ANEXO I</u></b> .....	106

## **1. INTRODUCCIÓN**

Este proyecto se enmarca dentro de la iniciativa del Grupo de Tecnologías Apropriadadas (GTA) de la Universidad Carlos III de Madrid para la creación de un centro de análisis y mejora de sistemas de abastecimiento de agua en el que poder desarrollar ensayos reales que proporcionen soluciones aplicables dentro de este campo.

Tras unos años en los que se han realizado proyectos encaminados al análisis preliminar del problema, como tanto a enfocar y seleccionar los aspectos a estudiar, se pretende ahora aplicar sobre el terreno estas directrices y poner en funcionamiento la sección del laboratorio dedicada a los sistemas de bombeo manuales.

A continuación se describen las características y principios fundamentales del centro y del presente proyecto.

### **1.1. Centro de ensayos para tecnologías del agua de la Universidad Carlos III de Madrid**

En el año 2005 desde el Área de Ingeniería térmica del Departamento de Ingeniería térmica y de fluidos de la Universidad Carlos III de Madrid se impulsa un proyecto científico-humanitario, prácticamente pionero, encaminado al desarrollo de tecnologías alternativas para la obtención y suministro de agua para consumo humano.

Es un proyecto abierto, con amplias perspectivas de futuro y con el fin de crear un referente, tanto a nivel nacional como internacional en el campo de la mejora de la calidad y la accesibilidad a un bien imprescindible para el desarrollo humano como es el agua, y en el que a día de hoy, en el año 2012 aún falta muchísimo por hacer.

Para el desarrollo de esta actividad, la Universidad Carlos III de Madrid ha proporcionado un área de su Parque tecnológico de Avenida del Mediterráneo en la ciudad de Leganés, en el cual están viendo la luz los diversos proyectos que pretenden

profundizar en éste campo. Con proyectos dedicados al desarrollo de bombeo de agua mediante energía solar, el desarrollo y la mejora de los sistemas manuales con mayor nivel de implantación a nivel mundial y con una mayor capacidad de mejora tanto en calidad como en rendimiento, y la investigación en medios de limpieza y purificación de agua alternativos, el futuro de los trabajos que se realizan en éste “laboratorio del agua” es la implementación de los resultados obtenidos al terreno, dónde se espera mejorar considerablemente la calidad de vida de los usuarios de éstos sistemas y facilitar una labor didáctica a cerca del funcionamiento, instalación y reparación de estos sistemas.

La función instructiva, en concreto a cerca del control de los sistemas de bombeo manuales ya implantados, es una labor imprescindible para tratar de asegurar un funcionamiento correcto y duradero de los mismos, esta labor formativa se enfocaría tanto hacia alumnos de ingeniería, que desarrollarían labores de I+D parara realizar mejoras en los sistemas, como a ONG’s y cooperantes, que podrán profundizar en los modos de montaje y operación de los equipos. Por lo tanto es importante hacer hincapié en dotar al laboratorio de una gran versatilidad y amplitud de funcionalidad en sus instalaciones.

Además, desde un punto de vista técnico, las instalaciones y el equipamiento del centro, como así mismo el concepto de las áreas de trabajo y el grupo humano que opere en éste centro, deben de estar enfocados para poder desarrollar ensayos que profundicen en los principios englobados en el marco del concepto VLOM (Village Level Operation and Maintenance), permitiendo que los diversos puntos de desarrollo y los resultados esperados produzcan un avance sobre los distintos equipos en este sentido. Las premisas básicas recogidas en el concepto VLOM, que guían el presente trabajo y lo harán en los trabajos futuros en son las siguientes:

- El mantenimiento se podrá realizar mediante herramientas comunes, con un nivel técnico bajo por una persona formada a tal efecto.
- Las tecnologías escogidas se fabricarán en la medida de lo posible dentro del país, de manera que se asegure la accesibilidad a piezas de repuesto.
- Se primará la disponibilidad frente a la robustez o durabilidad, de forma que la reparación del sistema pueda realizarse en el menor tiempo posible gracias al uso de materiales y operaciones de fácil acceso.

Podemos concluir por tanto, que debido al enfoque con el que se ha dotado a esta iniciativa, se trata de un proyecto vivo y participativo, enfocado de una manera sincera a la mejora de las condiciones de vida de millones de personas.

## **1.2. Referencia a proyectos anteriores**

El presente proyecto, como se ha indicado anteriormente, forma parte de la cadena de desarrollo del Laboratorio de Tecnologías Apropriadas (LTA) de la Universidad Carlos III de Madrid, y es necesario mencionar que la base fundamental de información utilizada para dar impulso a este trabajo se recoge en los proyectos realizados por Unai Tomillo en “Estudio acerca del empleo de la Bomba Manual de agua en el ámbito rural en países en vías de desarrollo. PFC Universidad Carlos III de Madrid” y por Jaime Arroyo en “Diseño de un banco de ensayos de bombas manuales. PFC Universidad Carlos III de Madrid”, que comprenden una excelente base documental y punto de partida respectivamente para la puesta en marcha del centro.

## **1.3. Objeto y estructura del proyecto Caracterización de bombas manuales**

El presente trabajo “*Montaje y Ensayo de Bombas Manuales de Pistón*” está enfocado a obtener una caracterización de los sistemas de bombeo de agua mediante el uso del trabajo manual como fuente de energía, y en concreto a implantar en el laboratorio un banco de ensayo dónde poder realizar el estudio de la bomba Afridev.

El proyecto parte con la disponibilidad de las bombas a estudiar, los modelos Afridev y Malda del fabricante Meera & Ceiko Pumps Pvt. Ltd., que fueron adquiridas previamente, luego todas las fases del trabajo se pudieron realizar físicamente sobre los equipos.

El trabajo se puede dividir en líneas generales en cuatro fases, las cuales se irán describiendo a lo largo del presente texto:



- En la primera fase, desarrollada en el capítulo segundo, se ha realizado un análisis previo de la calidad de los equipos comerciales adquiridos por la Universidad Carlos III de Madrid durante el desarrollo de proyectos anteriores, en concreto se trata de la bomba Afridev y la bomba Malda. El análisis se ha realizado teniendo en cuenta los criterios establecidos por la SKAT (Swiss Resource Center and Consultancies for Development) que es la institución encargada de la normalización de las bombas de dominio público junto a fabricantes y gobiernos y también se han desarrollado criterios propios que no constaban explícitamente y se consideran necesarios.

- En la fase siguiente se ha diseñado la distribución del laboratorio de ensayo de bombas manuales, enfocándolo a garantizar la máxima flexibilidad del mismo, además de que pueda admitir, en el caso de ser necesario, el desarrollo de diversas actividades demostrativas y formativas de los equipos. Esta fase se encuentra desarrollada en el capítulo tercero del presente proyecto.

- Una vez cerrado el diseño del laboratorio, se procedió a diseñar la instalación de pruebas de la bomba Afridev, la adquisición de los equipos necesarios y la implementación y montaje del banco de ensayo en el laboratorio. En el capítulo tercero encontraremos toda la información técnica relativa al montaje de la instalación.

- En la fase final del proyecto, descrita en el cuarto capítulo, se procedió a comprobar la fiabilidad de la instalación, realizar análisis previos, una primera caracterización de carácter orientativa sobre el rendimiento y la capacidad de la bomba Afridev y la realización de test sobre la adecuación de los equipos de medida.



**Fotografía 1.1. Espacio de trabajo**

## **2. ANÁLISIS PRELIMINAR**

Este capítulo tiene dos objetivos, por un lado, establecer un modelo estándar de criterios básicos que sirvan como base de mínimos para obtener una correcta valoración de la calidad de los equipos. Para ello utilizaremos criterios estándar ya establecidos y propios de cada modelo de bomba, y además se aportarán criterios que consideramos importantes para llevar a cabo un análisis completo y que no están propiamente establecidos en la documentación existente sobre el análisis de la calidad de las bombas manuales.

El otro objetivo que se pretende, es el estudio propiamente dicho de los equipos de los que se disponen actualmente en el laboratorio de tecnologías aplicadas al suministro de agua. Basándonos en los criterios que establecidos, se tratarán los casos particulares de los modelos de bomba Afridev y Malda.

Un estudio minucioso de los aspectos que se establecen a continuación es muy importante para analizar fallos o prevenirlos, y establecer parámetros de mejora en la calidad de las bombas. Recordamos que el 70% de los equipos suelen fallar antes de cumplir su primer año de funcionamiento.

### **2.1. Criterios estándar**

Los criterios estándar que se han tenido en cuenta para el análisis preliminar y de calidad de los equipos se basan en los recogidos en los trabajos “Laboratory Testing Handpumps for Developing Countries: Final Technical Report” y “Handpumps: Toward a Sustainable Technology”, así como recomendaciones del Banco Mundial.

Estos criterios abarcan cuestiones como la adquisición de los equipos, embalaje, estudio dimensional básico y criterios de ingeniería del funcionamiento y construcción de los equipos.

## **2.2. Criterios aportados en este proyecto**

Los criterios que se incluirán están basados en las particularidades de diseño de cada modelo de bomba, recogiendo parámetros de calidad comprometidos por el fabricante y que han de ser verificados.

## **2.3. Principios y estructura del análisis**

Finalmente, se han sintetizado los criterios anteriormente mencionados y se ha elaborado un protocolo de mínimos para realizar el análisis de las bombas. El análisis llevado a cabo se ha organizado en los siguientes epígrafes o bloques de análisis:

### ***Obtención de los equipos***

En este apartado se dejará constancia del origen del mecanismo de bombeo, así como sus costes, tanto de adquisición como de transporte y la configuración de los componentes.

Se valorará que los equipos sean suministrados por un proveedor independiente y representativo en el mercado.

### ***Inspección previa***

Es la valoración que se realizará justo en el momento de la recepción de los equipos. Se evaluará el tipo de empaquetamiento, la seguridad y comodidad del mismo así como su facilidad para el transporte. Se dejará constancia del grado de montaje de los equipos, posibles defectos, falta de material, literatura y herramientas facilitadas.

### ***Medidas y consideraciones previas***

Llegado a este punto se realizará un análisis en términos técnicos de los equipos, se registrarán los pesos y los materiales de los diferentes equipos, se verificarán

aspectos dimensionales característicos de la bomba. Mediante instrumentos de medición de precisión no menor a 0,05mm como por ejemplo un calibre o pie de rey se analizarán aspectos de ajuste y se verificará que los elementos están dentro de las tolerancias admisibles.

Se realizará un análisis ergonómico en la disposición de trabajo de la bomba, para verificar la accesibilidad de manejo para los potenciales usuarios y se comprobarán aspectos generales a cerca del ensamblaje final de los elementos que sean de importancia vital para correcto funcionamiento de la bomba.

Para completar este análisis se llevarán a cabo comprobaciones adicionales que tengan importancia en el caso particular del modelo de bomba analizado.

### ***Ingeniería***

En el apartado de ingeniería se analizará el proceso de diseño de la bomba en todos sus aspectos, como pueden ser la elección de los materiales escogidos y el proceso de fabricación, la capacidad de transferencia del diseño para que pueda ser implementado en países en vías de desarrollo y la intercambiabilidad de materiales, aspectos muy importantes según los criterios VLOM que se describen en el primer capítulo de este proyecto.

Se tendrán en cuenta aspectos a cerca de la interacción de los usuarios con la bomba, como son la facilidad de montaje y los riesgos derivados del su manejo, y se estudiará la resistencia al entorno dónde está situada la bomba, contemplando posibles riesgos de contaminación del pozo y abusos o malos usos de la bomba.

## **2.4. Análisis de bomba manual Afridev**

Se realizará el análisis de la bomba Afridev teniendo en cuenta las especificaciones recogidas en el manual publicado “Afridev Handpump Specification; Revision 4-2002; by SKAT&Handpump Technology Network”.

### 2.4.1. Obtención de los equipos

<b>Fabricante</b>	Meera & Ceiko Pumps Pvt. Ltd.
<b>Suministrador</b>	Meera & Ceiko Pumps Pvt. Ltd.
<b>Modelo</b>	Afridev
<b>Configuración de componentes</b>	En conjuntos separados: base de bomba, cabeza de bomba, sección de palanca, palanca, utillajes, herramientas, varillas, tuberías DN63mm, cilindro, boca de succión, cuerda.

Concepto	Artículo	Uds.	Coste Unidad	Coste
<b>AFRIDEV</b>				
	Afridev Handpump	1	177 €	177 €
	Transporte (India – Madrid)		822 €	822 €
	<b>TOTAL</b>			<b>999 €</b>

**Tabla 2.1. Datos de fabricante de la bomba Afridev**

### 2.4.2. Inspección previa

#### 2.4.2.1. Empaquetamiento

Todos los elementos vienen empaquetados de una forma muy rudimentaria, mediante sacos de material sintético y uniones mediante cuerdas y grapas, si bien, las uniones son muy resistentes. No hay presencia de refuerzos o protecciones adicionales que garanticen protección o amortigüen de posibles golpes en ningún elemento.



**Figura 2.1. Embalaje cabeza de bomba Afridev**





**Figura 2.2. Conjunto de elemento embalados**

Este tipo de embalaje no garantiza ninguna protección frente a la humedad, al polvo o posibles agentes corrosivos, así mismo, tampoco se garantiza la integridad del embalaje pudiéndose ocasionar pérdidas de elementos.



**Figura 2.3. Palanca de la bomba Afridev**

La seguridad en el transporte de los elementos es muy escasa, ya que la debilidad del material de embalaje, sumado a la falta de elementos de refuerzo, hace que una rotura del paquete deje a la vista aristas vivas que pueden ocasionar cortes en los operarios que manipulen la bomba. Se puede observar en la figura 2.4 como partes del cuerpo de la bomba quedan a la vista y fuera de protección.



**Figura 2.4. Defectos de embalaje en el cuerpo de la bomba Afridev**

En el caso del transporte, el mayor inconveniente reside en el peso bastante elevado de alguno de los componentes, que hacen que el transporte sin ayuda de vehículos pueda resultar muy tedioso.



#### 2.4.2.2. Estado de la bomba

Pese a los defectos de embalaje presentados, el estado de la bomba a su recepción es adecuado, debido a que la calidad superficial de los elementos no es alta, no se aprecian defectos superficiales.

Para el caso de de partes esenciales para el funcionamiento de la bomba, como son el pistón y la varilla y la válvula de pie, no se encuentran defectos significativos y su estado es correcto para el funcionamiento. En el caso de este bloque funcional, su transporte se realiza con todos los elementos unidos mediante roscas, el pistón al último tramo de la varilla, y la válvula de pie al pistón.



**Figura 2.5. Conjunto varilla, pistón, válvula de pie**

Las muescas para el ensamblaje de la válvula de pie con el tramo final del cilindro están en buen estado, capaz de garantizar una unión segura entre ambos elementos, además todas las juntas y tacos de goma de todos los componentes se encuentran en un grado correcto tanto de montaje como de estado.



**Figura 2.6. Detalle pistón y válvula de pie**

En cuanto a útiles para el montaje, como son los tornillos, se encuentran ensamblados mediante sus tuercas en sus alojamientos correspondientes, fijando además otros componentes de la bomba.



**Figura 2.7. Detalle tornillos**

El resto de las juntas de goma, anillos de centrado, ejes de la palanca, cojinetes y herramientas se encuentran empaquetados y protegidos en la cabeza de la bomba por medio de la carcasa de seguridad, incluida la llave de seguridad necesaria para desbloquear la cubierta, situación que complica su apertura si no se disponen de las herramientas necesarias previamente a la recepción e instalación de la bomba.



**Figura 2.8. Cabeza de la bomba, carcasa de protección y tornillo de seguridad**

En cuanto a los ejes de la palanca y sus cojinetes se encuentran en buen estado, y pese a que sean elementos esenciales para el funcionamiento de la bomba su empaquetamiento no está pensado para garantizar su protección frente a golpes, especialmente en el caso de elementos muy frágiles como son los cojinetes.

En la figura 2.9 se observa que el embalaje básico consiste en un envoltorio de plástico, sin separación entre elementos, restricciones de movimiento o protecciones adicionales frente a golpes o agentes corrosivos.



**Figura 2.9. Detalle del embalaje de los útiles de la palanca**

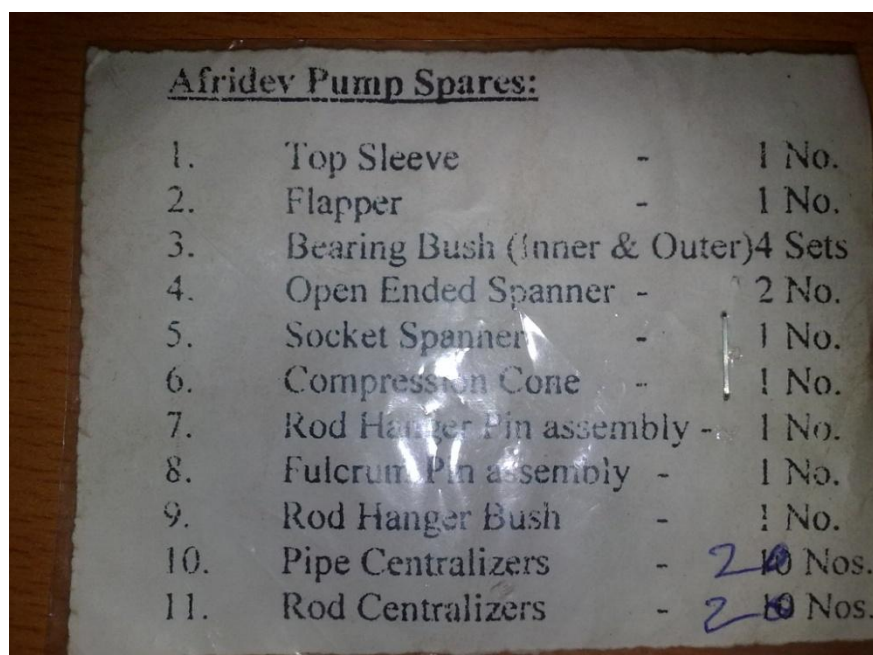
Pese a los defectos de embalaje mencionados, en el caso particular de esta bomba, no se ha detectado ausencia de piezas o defectos significativos.

#### **2.4.2.3. Literatura entregada**

En el conjunto recibido de la bomba Afridev no se encuentra documentación sobre el producto adquirido ni manuales de montaje.

Esta circunstancia crea una gran dificultad a la hora de proceder al montaje de la bomba si no se tiene en cuenta este aspecto antes de la recepción de los equipos, o no ha habido experiencias con montajes previos.

Si que se encuentra adjunta una lista de materiales, escrita en inglés, con correcciones realizadas a mano, un tamaño que se considera escaso (8x6 cm) y que facilita su pérdida, y un embalaje deficiente con el cual no se asegura su estado de conservación. En la figura 2.10 se deja constancia de este documento.



1.	Top Sleeve	-	1 No.
2.	Flapper	-	1 No.
3.	Bearing Bush (Inner & Outer)		4 Sets
4.	Open Ended Spanner	-	2 No.
5.	Socket Spanner	-	1 No.
6.	Compression Cone	-	1 No.
7.	Rod Hanger Pin assembly	-	1 No.
8.	Fulcrum Pin assembly	-	1 No.
9.	Rod Hanger Bush	-	1 No.
10.	Pipe Centralizers	-	2 <del>10</del> Nos.
11.	Rod Centralizers	-	2 <del>10</del> Nos.

**Figura 2.10. Lista de materiales de la bomba Afridev**

Para obtener un manual de especificaciones e instalación de la bomba, podemos recurrir a la página web de la “*Rural Water Supply Network*”, en la siguiente dirección <http://www.rwsn.ch/prarticle.2005-10-25.9856177177/prarticle.2005-10-26.2582788867/prarticle.2008-12-04.2105225472/prarticle.2009-02-06.9581575564> podemos encontrar toda la información necesaria:

<http://www.rwsn.ch/prarticle.2005-10-25.9856177177/prarticle.2005-10-26.2582788867/prarticle.2008-12-04.2105225472/prarticle.2009-02-06.9581575564>

#### **2.4.2.4. Herramientas suministradas**

Junto con la bomba, se suministra un juego de herramientas para realizar el montaje básico de la bomba. Se trata de un par de llaves planas de boca fija, con boca para trabajar con roscas con cabezas de 17 y 19mm, que son las métricas comunes en todas las uniones roscadas de la bomba de métricas M10 y M12 respectivamente.

También se adjunta la llave de seguridad para desacoplar la carcasa de protección, que consiste en una llave de tubo, con la longitud suficiente para poder acceder al tornillo de cierre.





**Figura 2.11. Herramientas para bomba Afridev**

En cuanto al embalaje y el estado de las herramientas, como podemos observar en la figura 2.12, el empaquetamiento de las llaves es un fleje básico sellado con cinta, aunque en esta ocasión, pese a tratarse de herramientas de acero inoxidable, se ha incluido una sustancia en forma de virutas (color rojo en la figura 2.12) para absorber humedad.



**Figura 2.12. Embalaje de las herramientas**

Las herramientas, a la recepción de los equipos se encuentran en buen estado de conservación, y la cantidad proporcionada es la mínima para realizar el montaje básico de la bomba Afridev, sin embargo para realizar el montaje real de la bomba serán necesarias otras herramientas y equipos que es conveniente que consten, al menos, en el manual de montaje de la bomba.

Algunas de las herramientas básicas y necesarias a la hora de instalar la bomba en un puesto de trabajo real, son sierras, tanto para corte de PVC como de acero, papel

de lija y lima para corrección de superficies cortantes, martillo, y las herramientas y equipos necesarios para acoplar la base de la bomba en la superficie correspondiente al lugar de la instalación, que por norma general se realizará sobre una plataforma de hormigón armado.

### 2.4.3. Medidas y consideraciones previas

#### 2.4.3.1. Pesos y materiales

ELEMENTO	MATERIAL	PESO (Kg)
Cabeza de la bomba	Acero galvanizado	9,6
Palanca	Acero galvanizado	7
Carcasa	Acero galvanizado	5,8
Base de la bomba	Acero galvanizado	8,5

Tabla 2.2. Pesos y materiales de los elementos de la bomba Afridev

#### 2.4.3.2. Estudio dimensional

##### *Componentes del cilindro*

Carrera	226 mm
Diámetro nominal	50 mm
Volumen nominal	443,75 cm <sup>3</sup>

Tabla 2.3. Dimensiones características del cilindro

##### *Evaluación del forro de fricción*

Diámetro interior (forro situado dentro de la tubería)	52,6mm
Diámetro exterior	63,2mm
Longitud	745mm

Tabla 2.4. Dimensiones características del forro de fricción

*Sistema fulcro - palanca*

Componente	Medida de referencia (mm)	Medida (mm)
Carrera de la palanca	$225^{\pm 6}$	<b>226</b>
Diámetro interno del hogar del fulcro y tronco de enganche de varilla	$47^{+0,1}$	<b>47</b>
Longitud del tronco de enganche superior varilla	$58^{+0,2}$	<b>57,4</b>
Longitud del hogar del fulcro	$109,5^{+0,2}$	<b>111</b>
Diámetro exterior del forro del fulcro / enganche superior de la varilla	$38_{-0,2}$	<b>37,85 / 38</b>
Longitud del forro de enganche superior de la varilla	$68,5^{+0,2}$	<b>68,75</b>
Longitud del forro del fulcro	$119,5^{+0,2}$	<b>119,5</b>
Distancia entre escuadras del fulcro	$120,2^{+0,5}$	<b>120,5</b>

**Tabla 2.4. Verificación dimensional**

Podemos observar en la tabla 2.4, que todos los parámetros de calidad están dentro de los márgenes de tolerancia indicados, excepto en el caso de las medidas de la longitud del tronco de enganche superior de la varilla y del hogar del fulcro.

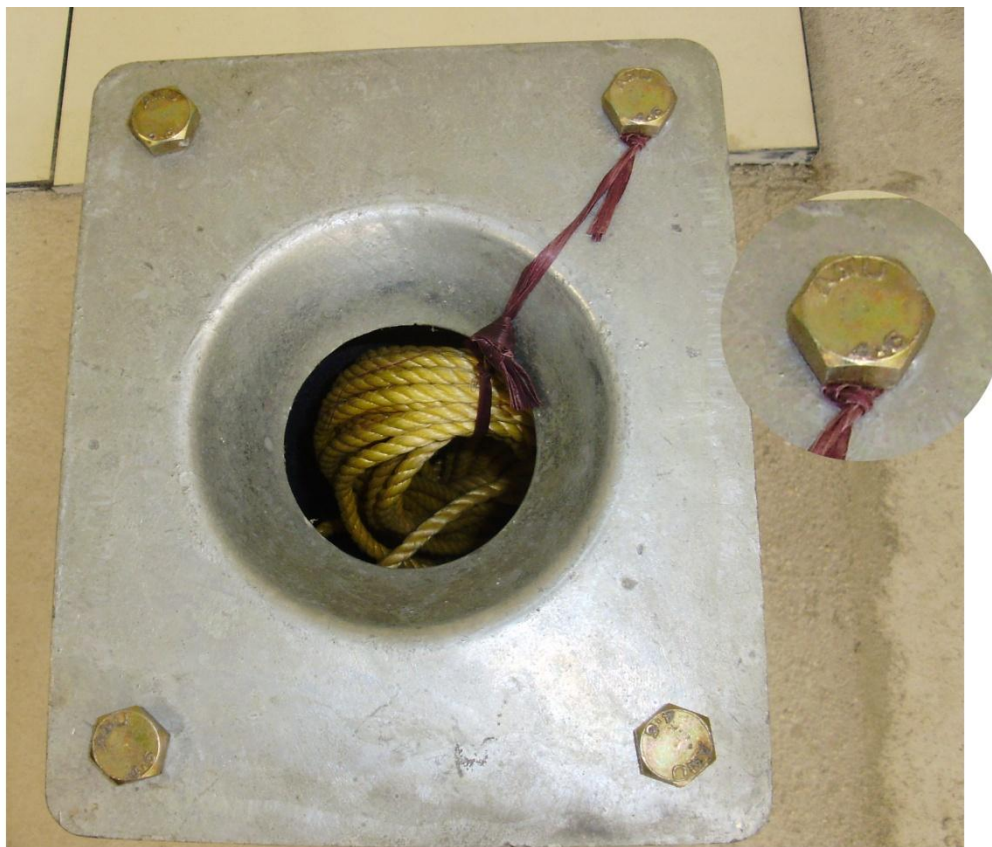
*Ensamblajes*

Los tornillos y los empalmes roscados de los diversos elementos se encuentran en buen estado y se considera que tienen unas dimensiones suficientes para realizar los esfuerzos necesarios en sus respectivas funciones.

Se trata de tornillos de métrica M10 y M12, con calidad según norma EN ISO 898-1 de 4.6, resultando una resistencia a tracción de  $400\text{N/mm}^2$  y un punto de límite de fluencia del 60% del valor de resistencia, situándose en  $240\text{N/mm}^2$ , cargas ajustadas a los esfuerzos que soporta la bomba, en la que nunca se soportarán esfuerzos de tracción significativos ya que el eje del fulcro y los topes de la palanca sitúan los esfuerzos alineados con el eje central de la bomba, con lo cual se reduce el par en la cabeza de la bomba. En adición, los mayores golpes se producirán en la carrera de bajada, creando un esfuerzo de compresión puntual en la bomba descargando el esfuerzo de los tornillos.



Los tornillos y tuercas son del fabricante indio *Anu Fasteners Private Limited*.



**Figura 2.13. Detalle de tornillos de la bomba Afridev.**

En cuanto a las uniones soldadas, se puede apreciar que se ha utilizado un sistema de soldadura por arco manual por medio de electrodo consumible, posiblemente MMAW, que proporciona una buena soldadura para entre elementos de baja resistencia mecánica.

Es característico el gran aporte de material en las soldaduras, dando lugar a cordones muy bastos, que en algunas zonas, sobre todo en las aristas salientes se han limado para evitar cortes.

Como podemos observar en el ejemplo de la figura 2.14, las soldaduras se han pintado para proteger estos puntos de la corrosión, aunque debido al excesivo aporte de material, resulta más complicada una protección al 100% de estas uniones.

Consideramos que dada su función y el sobredimensionamiento de las mismas, estas uniones son adecuadas para soportar los esfuerzos, aunque pueden ser puntos a tener en muy cuenta en el efecto que la corrosión puede causar a la vida de la bomba.



**Figura 2.14. Detalle de las uniones soldadas de la bomba Afridev**

### *Tuberías de PVC*

<b>Diámetro exterior</b>	<b>63mm</b>
<b>Diámetro interior de las uniones</b>	<b>62,9mm</b>
<b>Diámetro interior de las tuberías con bordes limados</b>	<b>53,6mm</b>

**\* todas las tuberías deben de tener los bordes limados en un ángulo de 15°**

**Tabla 2.5. Dimensiones de tuberías**

Como se remarca en las especificaciones, se comprueba que todas las tuberías tienen los bordes limados en ángulo, con lo que se evitan aristas cortantes y se mejora la unión entre los distintos conductos.

### 2.4.3.3. Análisis ergonómico

<b>Altura máx./mín. Palanca</b>	<b>1454mm / 346mm</b>
<b>Altura plataforma</b>	<b>0 mm</b>
<b>Desplazamiento angular</b>	<b>56,54°</b>
<b>Longitud palanca</b>	<b>1170mm</b>
<b>Frecuencia de operación</b>	<b>30cpm</b>

\* punto medio de recorrido palanca  $\approx 0,9\text{m}$  del suelo

\*\* caño de la bomba con altura máxima  $\approx 0,6\text{m}$  del suelo

**Tabla 2.6. Análisis ergonómico**

Para la altura máxima y mínima de la palanca se ha tenido en cuenta la máxima y mínima longitud útil de operación de la misma, en la que la fijación de la palanca es segura.

La altura del caño con respecto a la base se ha situado en 0,5 metros, entrando perfectamente en los parámetros mínimos de instalación.

### 2.4.3.4. Aspectos de ensamblaje

- Se comprueba que las guías del fulcro no sobresalen de sus alojamientos en su forro correspondiente, así mismo bajo este criterio se observa que se cumple este mismo criterio en el enganche superior de la varilla, después de ensamblado y en condiciones de operación.
- Durante el ensamblaje de los elementos del fulcro, no se realizan esfuerzos, acoplándose todos los elementos de una manera correcta y limpia. El ensamblaje del empalme de la varilla se realiza bajo las mismas condiciones.
- El enganche de la varilla encaja fácilmente en las aperturas dispuestas en la cabeza de la palanca, y el orificio de retención está bien alineado con los agujeros dispuestos en el cuerpo de la bomba.

- Las conexiones entre los distintos tramos de la varilla se realizan de manera correcta y fiable. En cuanto al tramo final, en la unión con el soporte superior de la varilla situado en la cabeza de la bomba, la unión no es sólida debido al bajo grado de apriete que se consigue mediante el sistema diseñado, basado en un apriete simple con tornillo.
- Las varillas se encuentran en muy buen estado, presentan buena estabilidad dimensional en cuanto a enderezamiento vertical, flexibilidad adecuada, un correcto estado de los empalmes roscados y un buen grado de calidad superficial, importante para mantener su resistencia a la corrosión.

#### **2.4.3.5. Comprobaciones adicionales**

- El enganche entre la válvula de pie y el elemento final del conducto de succión se produce de manera correcta, asegurando un fuerte anclaje de este elemento. El acoplamiento roscado entre el pistón y la válvula de pie resulta un enlace seguro pero de difícil operación.

### **2.4.4. Ingeniería**

#### **2.4.4.1. Materiales y fabricación**

El material básico de construcción de la bomba Afridev es el acero de construcción, con una tensión admisible situada entre  $340 - 470 \text{ N/mm}^2$ . A partir de este material se conforman los principales elementos estructurales de la bomba, incluyendo la varilla de actuación.

La calidad del acabado superficial de estos materiales es muy baja, exceptuando la presentada por el eje del fulcro, el eje de la palanca y la varilla, así como los alojamientos para ambos ejes.

Los diversos conjuntos estructurales están conformados mediante plegado y corte de placas de acero, ensambladas entre sí, en los conjuntos que lo requieren, mediante soldaduras por arco manual según especificaciones ISO 9692-1.

En cuanto a la protección contra la corrosión, se ha empleado un método de galvanizado simple según la norma ISO 1461, con una capa de espesor entre 70 – 80µm.

Este método de protección se usa en la cabeza de la bomba, las dos secciones de la palanca, el enganche superior de la varilla, la carcasa de protección, el cuerpo de la bomba, el cono de acero, la varilla y sus empalmes.

Para otros elementos de una importancia mecánica mayor, como son el eje del fulcro y de la palanca, se realiza un plateado superficial acorde a la norma ISO 2081/2028 Fe/Zn12C, con un espesor de capa de entre 15 - 18 µm. Se recomienda además, para estos elementos un tratamiento de cromado Tipo C de la especificación ISO 4520. También incluiremos dentro de esta categoría al resto de utillaje como tornillos, tuercas y herramientas.

El resto de útiles de la bomba, válvula de pie, cuerpo del émbolo del pistón y el empalme entre válvula de pie y pistón, que tienen componentes metálicos están fabricados con cobre CuZn28Sn1.

Por otro lado encontramos elementos fabricados mediante duro plásticos en el cuerpo de la válvula de pie y los cojinetes para los ejes del fulcro y la palanca. El uso de goma de caucho simple se encuentra en los demás elementos como son los anillos de centraje y juntas de sellado.

#### **2.4.4.2. Capacidad de transferencia a países en desarrollo**

El tipo de material utilizado en la construcción de los diferentes conjuntos del cuerpo de la bomba (acero de construcción) es muy común y no requiere de propiedades especiales, son materiales muy accesibles con tratamientos muy corrientes y fáciles de reciclar y modelar.

La mayor parte de los tratamientos anticorrosivos pueden ser fácilmente sustituibles por otros métodos como la aplicación de pinturas aislantes.

Las técnicas de ensamblaje utilizadas no requieren de una formación especializada, ya que se trata de soldaduras manuales básicas, y en cuanto a los métodos de conformado, tampoco se requiere de un alto grado de dominio de las técnicas de trabajo con materiales metálicos, las estructuras básicas se consiguen mediante plegado y corte de formas sencillas.

Los equipos necesarios, para ambas cuestiones, no deben de suponer un problema debido a su alto grado de implantación mundial desde hace muchísimos años, como son las prensas simples, elementos de corte de baja capacidad como amoladoras, tornos de media/baja precisión y sistemas de soldadura manual básicos.

Los elementos de cobre del émbolo del pistón y la válvula de pie tienen un diseño más específico, pero el mismo puede ser simplificado para conseguir el mismo efecto utilizando elementos de mecanizado.

Todas las partes no metálicas de la instalación son de fabricación habitual y común en otros sectores básicos de la industria y la construcción, como las tuberías de PVC y elementos aislantes de caucho, además para esta sección constructiva, la importancia de los elementos reciclables es muy importante.

#### **2.4.4.3. Facilidad de montaje, mantenimiento y reparación**

Disponiendo de los materiales y herramientas adecuados y de un manual básico, la instalación de la bomba se puede realizar de manera sencilla y rápida. Esto es debido a la sencillez de las piezas, a la simplicidad del diseño y bajo número de elementos.

El mantenimiento de la bomba es escaso y se enfocará a mantener el buen estado de las partes móviles, que son las que sufrirán un mayor desgaste. Aparte será muy importante comprobar el estado de integridad del resto de la bomba en cuanto a

corrosión se refiere, intentando atajar lo antes posible problemas derivados de este efecto.

Se prevé que las principales reparaciones tendrán que llevarse a cabo en los elementos del pistón (varilla, válvula de pie y pistón). El diseño de la bomba Afridev permite un fácil acceso a estos elementos.

Los elementos de goma son fácilmente sustituibles en el momento, por un repuesto que, aunque tenga carácter provisional, ejerza el mismo efecto hasta que se obtenga un recambio fiel al elemento original. La rotura por desgaste o abuso de las partes metálicas del émbolo no son fácilmente reemplazables, pero su robustez indica que hay una probabilidad muy baja de fallo en este aspecto.

Las partes más críticas por tanto para una reparación, serían las varillas y la válvula de pie. En el caso de las primeras, debido a que su posible punto de rotura es en los empalmes (roscados), por lo que haría falta un equipo de soldadura y el material adecuado para llevar a cabo la reparación, además, un fallo en una unión puede suponer un gran problema a la hora de proceder a la extracción de los tramos de varilla que queden sueltos en un pozo de gran profundidad, teniendo que desmontar toda la instalación.

Un fallo en la válvula de pie puede ser bastante crítico, debido a que el material original es un duro plástico bastante frágil, sobre todo en la zona de unión con la boca del cilindro. La rotura de una de las tres pestañas que realizan la fijación de la válvula la pueden inutilizar, mermando el funcionamiento de la bomba, y su reparación es muy complicada. La búsqueda de un diseño alternativo se torna en la mejor solución.

#### **2.4.4.4. Resistencia a contaminación y abuso**

Si la bomba se conserva en buen estado, debido a un correcto mantenimiento, y se ha instalado de acuerdo a los planos y especificaciones, la contaminación accidental del pozo es muy complicada. Para mantener un mínimo de seguridad, lo más importante

sería mantener un correcto estado de la carcasa de protección y conservar una correcta limpieza de la boca de salida.

En cuanto a posibles actuaciones intencionadas de contaminar el pozo, que no se pueden descartar, la seguridad que ofrece la bomba es muy escasa. Algunas medidas disuasorias sobre los puntos más débiles podrían ser la instalación de un tornillo de seguridad en la carcasa de protección y una válvula simple de no retorno en la salida del caño.

La bomba está diseñada con la robustez necesaria para soportar un trabajo continuado y exigente de la misma, y las reparaciones en las partes móviles más sensibles no suponen un gran contratiempo, en caso de someter a la bomba a un esfuerzo excesivo o por simple desgaste. Sin embargo si que es vulnerable a golpes o actos vandálicos intencionados, por ello se recomienda que aprovechando la primera instalación de la bomba en su lugar de trabajo, se destine parte del presupuesto a incluir un pequeño vallado para impedir el acceso de animales, se instalen postes de seguridad, de acero u hormigón para evitar el acceso de vehículos, y construir un pequeño techado para proteger a la bomba de la lluvia, disminuyendo de esta manera posibles agentes de contaminación presentes en la misma.

#### **2.4.4.5. Riesgos potenciales derivados del manejo**

El funcionamiento de la bomba Afridev, y por tanto su manejo también lo es. El principal riesgo que podemos encontrarnos deriva de poder acceder a zonas en las que se puede introducir la mano mientras la bomba está siendo utilizada, pudiéndose producir contusiones o cortes.

Por otro lado, la bomba no presenta mayores riesgos de manejo, si se descartan las derivadas del esfuerzo que supone un manejo continuado de la misma.



#### 2.4.4.6. Intercambiabilidad de componentes

La única posibilidad de intercambiar componentes de la bomba es entre los elementos de ensamblaje como son los tornillos y las tuercas. Otros elementos de fácil reemplazo son las gomas de centraje o aislantes.

### 2.5. Análisis de bomba manual Malda

El análisis del modelo Malda de bomba manual, se realizará teniendo en cuenta las especificaciones reseñadas en el manual publicado “*Malda Handpump Specification; Revision 2-2005; by SKAT&Handpump Technology Network*”.

#### 2.5.1. Obtención de los equipos

<b>Fabricante</b>	Meera & Ceiko Pumps Pvt. Ltd.
<b>Suministrador</b>	Meera & Ceiko Pumps Pvt. Ltd.
<b>Modelo</b>	Malda
<b>Configuración de componentes</b>	En conjuntos separados: base de bomba, cabeza de bomba, palanca, utillajes, herramientas, varillas, tuberías DN62.

Concepto	Artículo	Uds.	Coste Unidad	Coste
<b>MALDA</b>				
	Malda Handpump	1	186 €	186 €
	Transporte (India – Madrid)		822 €	822 €
		<b>TOTAL</b>		<b>1008 €</b>

Tabla 2.7. Datos de fabricante de la bomba Malda

#### 2.5.2. Inspección previa

##### 2.5.2.1. Empaquetamiento

El empaquetamiento del modelo de bomba Malda, se realiza según el procedimiento del suministrador Meera & Ceiko Pumps Pvt. Ltd. observado en otros equipos, como el modelo de bomba Afridev, anteriormente analizado en este capítulo.

El embalaje, que básicamente consiste en un envoltorio de material sintético, no garantiza la integridad del mismo, y por lo tanto no es un sistema que asegure el correcto estado del equipo a su recepción, ya que los elementos de la bomba serán vulnerables a golpes, variaciones térmicas, humedad y ataques químicos o corrosivos.



**Figura 2.15. Conjunto de elementos embalados**

Este tipo de embalaje tampoco garantiza la seguridad de los propios usuarios, como podemos ver en la figura 2.16, una rotura parcial del embalaje, como la observada en la recepción de la bomba Malda deja al descubierto partes cortantes. Además, una pérdida del embalaje como la observada, puede hacer que se pierda la identificación del componente y consecuentemente puede extraviarse el material, dando lugar a un problema extremadamente grave según el contexto de necesidad de la bomba.

Adicionalmente, en este caso concreto, las herramientas suministradas, imprescindibles para realizar el montaje, vienen amarradas al cuerpo de la bomba, mediante cuerda y cinta adhesiva, en una bolsa de material sintético (de color verde en la imagen), estas condiciones de recepción podrían haber propiciado una pérdida de las mismas.



**Figura 2.16. Pérdida importante de embalaje en el cuerpo de la bomba Malda.**

Debido a la configuración de los componentes y su peso, el transporte se realiza de una forma cómoda, que en el caso de no disponer de vehículos, hace que su transporte manual se facilite.



**Figura 2.17. Ejemplo de elemento empaquetado**

#### **2.5.2.2. Estado de la bomba**

La bomba se recibe dividida en los bloques que corresponden al cuerpo de la bomba, varillas de actuación y tuberías, palanca de acción directa y base. Comenzaremos el análisis por el cuerpo de la bomba, el cual se recibe en buenas condiciones, sin defectos aparentes derivados de su falta de embalaje, si bien su baja calidad superficial puede disimular posibles golpes, pero su integridad estructural es correcta.



**Figura 2.18. Cuerpo de la bomba Malda**

En la base del cuerpo de la bomba se encuentra bien fijada y visible la placa que identifica el equipo, en la que figura el modelo, el fabricante, país de origen y su referencia correspondiente.

La palanca de acción directa se entrega con sus diferentes partes ensambladas. En este conjunto podemos distinguir entre el manillar de agarre, la carcasa de unión con el cuerpo de la bomba, el eje, la guía del eje y el acoplamiento roscado con los tramos de la varilla que podemos ver con detalle en la figura 2.19.

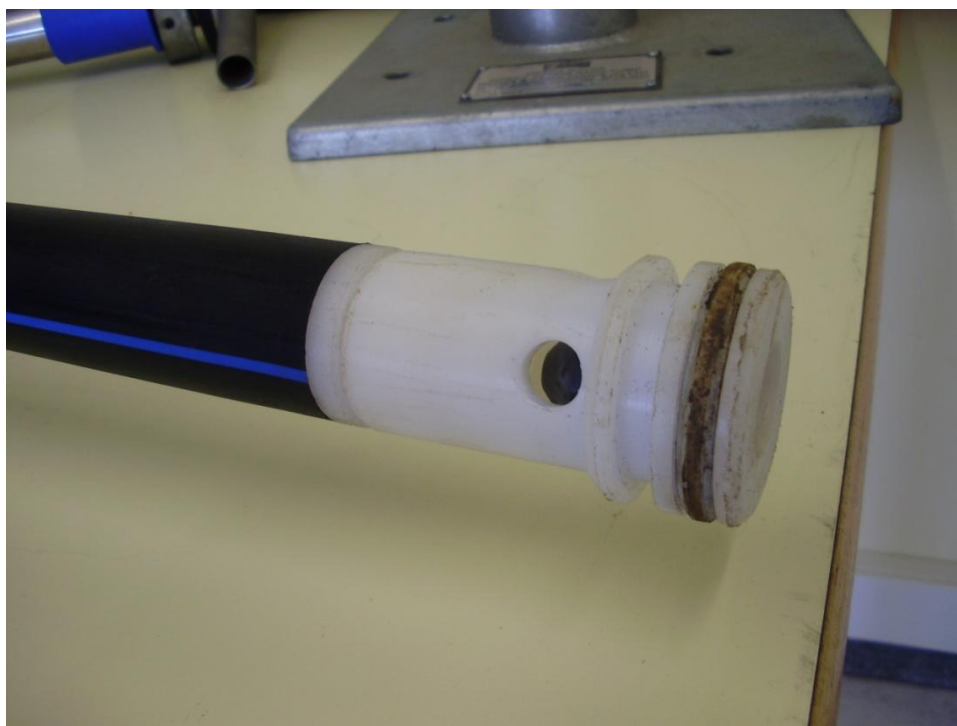


**Figura 2.19. Detalle de los elementos de la palanca de actuación**

Todos los elementos se encuentran en buen estado para desarrollar su función, destacando la calidad superficial del eje, que es dirigido y desliza correctamente por su guía correspondiente, y la carcasa, que se asegura correctamente al cuerpo de la bomba.

La rosca final del eje se encuentra unida de forma segura con el mismo, está en buen estado, y rosca sin ningún problema con el primer tramo del conjunto de varillas que conforman el eje de actuación del émbolo.

Las varillas de polietileno de alta densidad (HDPE) se encuentran en buen estado, sus uniones roscadas funcionan correctamente y tienen la flexibilidad necesaria para operar de forma adecuada. El pistón se encuentra unido al último tramo de varilla de manera rígida y segura, pero su estado está bastante dañado.

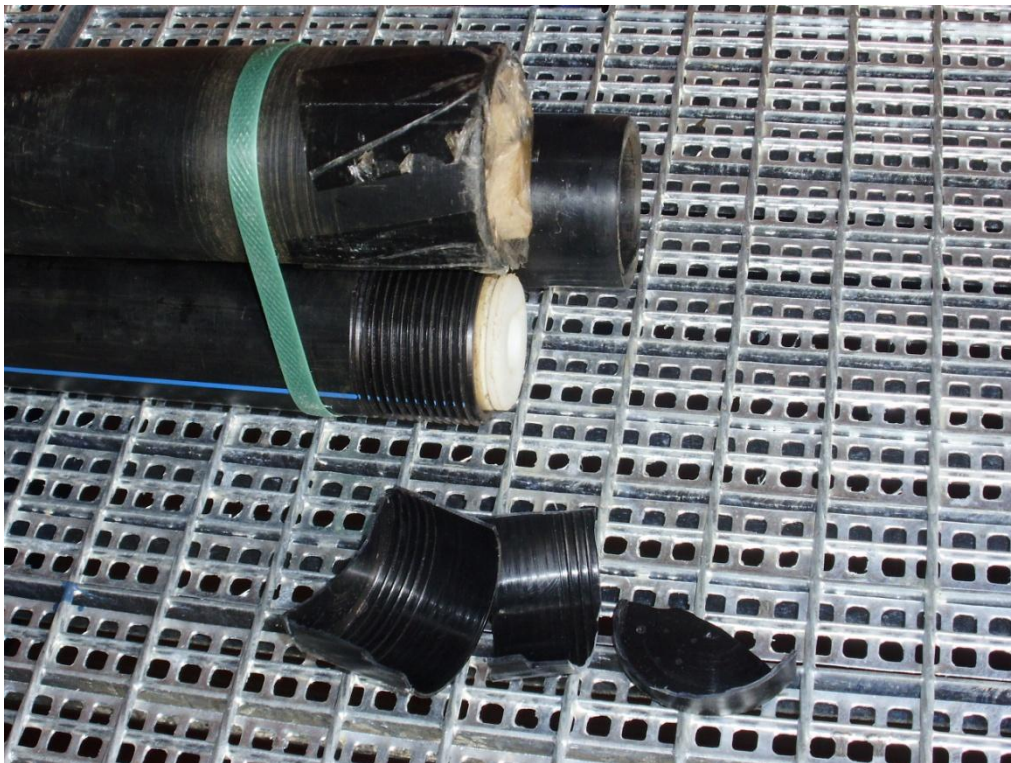


**Figura 2.20. Estado del pistón de la bomba Malda**

Como podemos observar en la figura 2.20, esta pieza de mecanizado de PVC se encuentra llena de arañazos, destacando éstos en la cabeza del émbolo. La goma de sellado, de la cual depende en gran parte la eficiencia final del bombeo está en un estado muy malo de conservación. Es una goma pasada y sucia. Tiene un corte sin soldar que impide un correcto servicio de la misma y hace que no conserve una correcta colocación en su posición en el pistón.



En cuanto a las tuberías de ascensión, que están fabricadas del mismo material que las varillas (HDPE), se encuentran en buen estado. En este caso van con uniones roscadas entre ellas, que en el transporte se protegen con unas carcassas de material plástico. Durante la inspección se observa que varias de estas carcassas se encuentran rotas (ver figura 2.21), con el consiguiente peligro de encontrar defectos en las uniones, que finalmente no son detectados.



**Figura 2.21. Carcassas de protección rotas.**

La válvula de pie se encuentra en mucho mejor estado que el pistón, el mecanizado de PVC conserva su integridad y la junta empleada para realizar el sellado se encuentra en muy buenas condiciones y el taco de caucho que ejerce de válvula tiene un buen acople y libertar de movimiento en su caja.



**Figura 2.22. Válvula de pie**

El bloque funcional de la base de la bomba se entrega con sus dos partes ensambladas mediante tuercas y tornillos. Las dos partes que lo conforman, en la configuración que adquirió la Universidad Carlos III de Madrid, son la sección que se armará con una base de hormigón, que en el caso de nuestro laboratorio no existirá, y la placa de ajuste del cuerpo de la bomba con la base, según como podemos observar en la figura 2.23.



**Figura 2.23. Base de la bomba Malda**



El estado de las soldaduras en la sección que denominaremos “armada” de la base es bueno. El acople con la placa de ensamblaje se realiza de forma correcta, y los tornillos generan un buen apriete.

En general podemos destacar que a la recepción del equipo observamos que no hay ausencia de piezas, pero el estado de algunos componentes importantes de la bomba, como es el émbolo del pistón, se encuentra en mal estado y necesitará reparación o sustitución de algunos elementos, como la junta de sellado antes de realizar el primer montaje de la bomba.

### **2.5.2.3. Literatura entregada**

En el caso de la bomba Malda no se entrega ningún tipo de documentación, dentro de la cuál se incluyen manuales, instrucciones de montaje, listas de materiales o documentos de especificaciones.

Es muy destacable este defecto, y se abre la necesidad de recurrir a la red de la “Rural Water Supply Network”, donde podemos encontrar la documentación necesaria:

[http://www.rwsn.ch/prarticle.2005-10-25.9856177177/prarticle.2005-10-26.2582788867/prarticle.2008-12-04.2105225472/prarticle.2009-02-05.9471692145/prarticle\\_view](http://www.rwsn.ch/prarticle.2005-10-25.9856177177/prarticle.2005-10-26.2582788867/prarticle.2008-12-04.2105225472/prarticle.2009-02-05.9471692145/prarticle_view)

### **2.5.2.4. Herramientas suministradas**

En el juego de herramientas suministrado, incluido en conjunto con el equipo adquirido del modelo de bomba Afridev, demostrando el suministrador una clara apuesta por la reducción de costes y material, se proporcionan dos modelos de llaves planas de boca fija, una de boca de 10mm para trabajar sobre los tornillos de métrica M6 de la unión entre la carcasa del mago de acción de la bomba con el cuerpo de la misma, y otra llave para tornillos de M10 y M12, con bocas de apertura 17 y 19mm respectivamente para actuar sobre los tornillos y tuercas del conjunto de la base de la bomba.



**Figura 2.24. Herramientas para la bomba Malda**

### 2.5.3. Medidas y consideraciones previas

#### 2.5.3.1. Pesos

ELEMENTO	MATERIAL	PESO
Cuerpo de la bomba	Acero galvanizado	13,5
Base	Acero galvanizado	7,2
Palanca de accionamiento	Acero galvanizado	3,5
Placa intermedia	Acero galvanizado	2,7

**Tabla 2.8. Pesos y materiales de la bomba Malda**

#### 2.5.3.2. Estudio dimensional

##### *Componentes del cilindro*

Carrera	410 mm
Diámetro nominal	50 mm
Volumen nominal	805,03 cm <sup>3</sup>

**Tabla 2.9. Dimensiones características del cilindro**

##### *Ensamblajes*

Los tornillos empleados para el anclaje del cuerpo de la bomba con la base son cuatro tornillos de métrica M10 y del tipo ISO 4014/DIN 931, estos tornillos tienen una resistencia a la tracción acorde con su calidad de 4.6 según la normativa EN ISO 898-1 de  $400\text{N/mm}^2$  y un punto de límite de fluencia de  $240\text{N/mm}^2$ , los tornillos se verán

sometidos a esfuerzos de tracción y compresión, según la configuración de trabajo de la bomba, que es actuada en dirección co-lineal al eje vertical del propio cuerpo.

Los tornillos utilizados para fijar la carcasa superior de la bomba son del mismo tipo que los anteriores pero de métrica M6, y en este caso no se usan tuercas para realizar la unión. Esta carcasa no se verá sometida a esfuerzos mecánicos, por lo que la elección de esa dimensión de rosca para el par de tornillos que trabajan, se considera adecuada.

Los tornillos y sus tuercas respectivas del tipo ISO 4032 se encuentran en buen estado, y para su transporte, como se observa en la figura 2.25, se encuentran ensamblados en su respectiva posición de trabajo.



**Figura 2.25. Tornillos en la base de la bomba Malda**

El fabricante de estos útiles de unión se corresponde con la casa india *Anu Fasteners Private Limited*.

Las soldaduras se deben realizar conforme a las especificaciones recogidas en la normativa ISO 9692 e ISO 9956-2 según se recoge en las especificaciones de la propia bomba “*Malda Handpump Specification; Revision 2-2005; by SKAT&Handpump Technology Network*”. Se trata de soldaduras realizadas mediante arco manual con electrodo de aporte protegido.

Las soldaduras se protegen frente a la corrosión mediante la aplicación de una pintura aislante en el propio cordón. Se trata de cordones de soldadura muy sobredimensionados en lo que se refiere a aporte de material, por lo que la estabilidad mecánica de la unión se considera asegurada.

El acabado de los cordones de soldadura es muy basto, y los puntos más expuestos han sido lijados para dotarles de un acabado más uniforme y evitar salientes o aristas vivas que puedan ocasionar cortes durante la manipulación de la bomba.



**Figura 2.26. Detalle de soldadura en la bomba Malda**

### 2.5.3.3. Aspectos de ensamblaje

- Comprobamos, previamente a la instalación de la bomba en su lugar de trabajo, que la guía metálica de la varilla tiene libertad de movimientos, tanto en el eje vertical como libertad de rotación en según la dirección del eje ortogonal al plano horizontal del suelo. Esta libertad de movimientos está garantizada por correcto juego que se produce entre el eje y el casquillo plástico de la cabeza de la bomba. En la figura 19 podemos observar el conjunto formado por ambos elementos.

- El siguiente aspecto a verificar, para garantizar una calidad mínima en el funcionamiento de la bomba, son las conexiones entre las varillas. Estas conexiones son roscas mecanizadas en PVC, y de la calidad del mecanizado de estos injertos depende la fiabilidad de la conexión entre los diferentes tramos de la varilla de actuación.

La calidad de las terminaciones es buena y las uniones se realizan de forma segura, pero la incorporación de un material adicional a la rosca, como puede ser el teflón, consolidaría la unión.

- Las varillas de material HDPE se encuentran en buen estado, y los injertos de los empalmes, unidos mediante presión y soldadura plástica, ofrecen una buena resistencia a tracción. Las varillas tienen una flexibilidad adecuada y su diámetro exterior se sitúa en 39,4mm, por lo que la holgura con respecto al diámetro interior de los conductos de  $\varnothing_{int}$  50,2mm es suficiente.

## **2.5.4. Ingeniería**

### **2.5.4.1. Materiales y fabricación**

Las partes de acero de la bomba Malda son conformadas usando un tipo de “acero de construcción” como puede ser uno del tipo CK45 o un S235JR según la designación recogida en la norma ISO 630 / EN 10025 (93). Son aceros corrientes, fáciles de mecanizar y aptos para realizar construcciones soldadas.

No son materiales aptos para realizar esfuerzos mecánicos importantes, pero en el caso de la bomba Malda no se darán situaciones de exigencia significativa.

Las técnicas de fabricación empleadas abarcan la fundición simple para el cuerpo de la bomba, plegados y embuticiones en la base de la bomba, y procesos simples de mecanizado y soldadura según la norma ISO 9692 en el resto de elementos y las uniones respectivas.

Los acabados superficiales de las diversas partes metálicas son de baja calidad, a excepción del eje de la palanca, que presenta un mejor acabado, siendo destacable el proceso de pulido que se ha hecho en el mismo, ya que para su función es necesario que se mantenga un bajo grado de rozamiento con respecto al casquillo de guía que se sitúa en la cubierta superior de la bomba.

En cuanto a la protección frente a la corrosión de los elementos de acero, como hemos visto en modelos anteriores del mismo fabricante, se ha empleado un método de galvanizado de acuerdo con la normativa ISO 1461, con una capa de espesor entre 70 – 80µm, empleado en la palanca de acción, el cuerpo de la bomba, la cubierta superior, el conjunto de la base y el cono de acero.

El resto de utillajes, como los tornillos y tuercas están sujetos a un tratamiento de plateado superficial según la normativa ISO 2081/2028 Fe/Zn12C, con un espesor de capa mínimo de 15µm, además a estos elementos se les realiza un tratamiento de cromado Tipo C de la especificación ISO 4520.

El material con el que se han fabricado las uniones de la varilla, el émbolo y la válvula de pie, es PVC. Este es un material muy fácil y barato de mecanizar, además de ser el material apropiado para la función de desempeñan estas partes en el conjunto de la bomba.

Para los conductos de ascensión y la varilla se emplea el material plástico HDPE, por precio, resistencia a la corrosión, flexibilidad y facilidad de mecanizado es un material ideal para ser utilizado en las tuberías de ascensión. La calidad superficial que se puede obtener al trabajar con este material es adecuada para que su cara interior pueda ser utilizada como cuerpo del cilindro.

Para los elementos de aislamiento, juntas tóricas, y casquillos del émbolo y la válvula de pie, se utilizan mecanizados de caucho, apropiados para trabajar en medios húmedos y sumergidos.

El casquillo de centraje del eje es un mecanizado de polietileno, más resistente al rozamiento.

#### **2.5.4.2. Capacidad de transferencia a países en desarrollo**

Una vez analizados en el punto anterior los materiales y los procesos de fabricación empleados en la fabricación de la bomba Malda, analizamos la viabilidad de su implantación en los países en vías de desarrollo, que es dónde la demanda de este sistema de abastecimiento de agua tiene mayor trascendencia.

Empezando por los metales empleados, podemos decir de los mismos, que son materiales muy comunes en la industria, de cualquier generación, y que además pueden obtenerse del reciclaje de otros elementos mecánicos.

Las técnicas de conformado de las partes metálicas son muy básicas y no requieren de procesos de alta precisión en cuanto a ensamblajes, conformado y acabado superficial, por lo que utilizando técnicas básicas de fundición, prensado, mecanizado y soldadura manual puede obtenerse un mecanismo de calidad conforme a las

especificaciones. Estos sistemas están implantados en una amplia mayoría de países sin tener en cuenta su desarrollo actual, como herencia de puntuales impulsos industriales ocurridos a partir de la década de 1960s según la “*United Nations Industrial Development Organization*” (UNIDO).

Los útiles de unión como tornillos, arandelas y tuercas son modelos normalizados y su comercialización está presente en todos los mercados.

En cuanto a las partes plásticas, los materiales utilizados como son el PVC y el HDPE se tratan de materiales muy comunes en la industria petroquímica, muy fáciles de moldear y mecanizar mediante utillajes y equipos sencillos. En cuanto a diseño, se pueden realizar simplificaciones que faciliten el mecanizado de elementos como el émbolo o la válvula de pie.

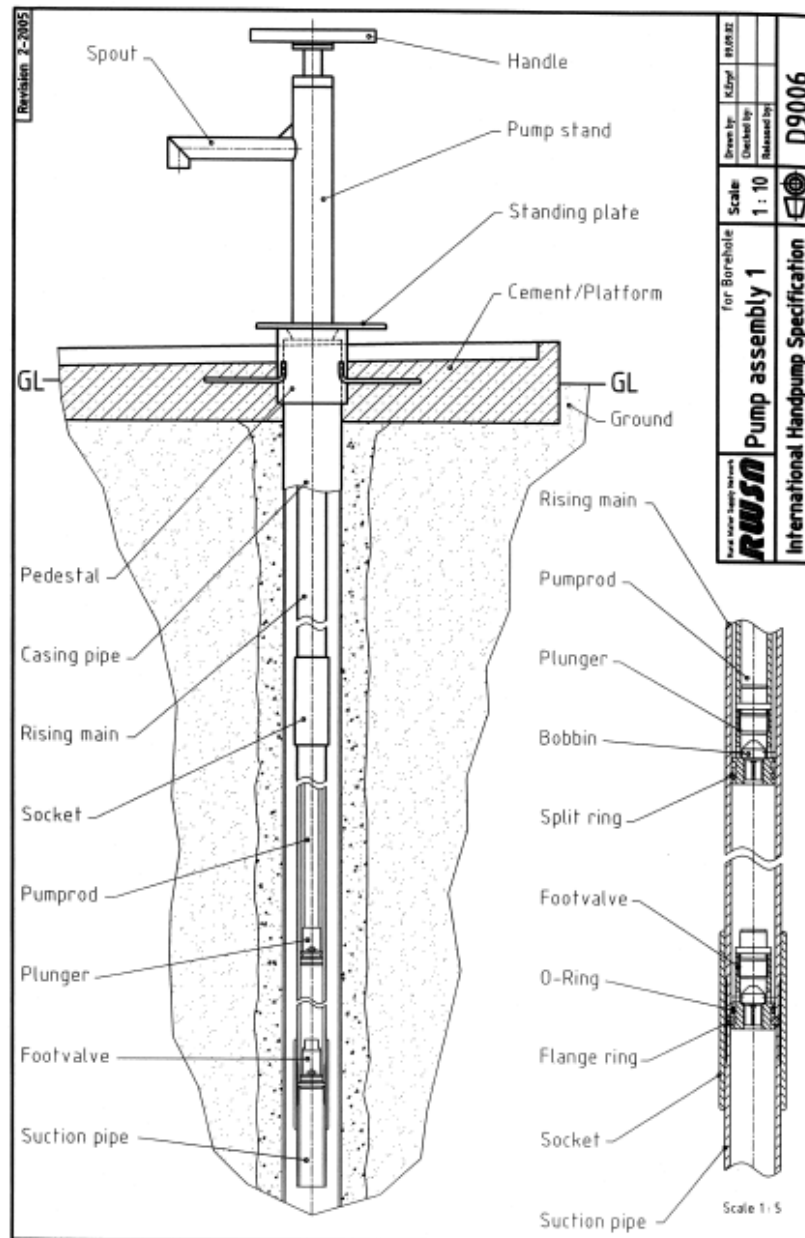
En términos generales llegamos a la conclusión de que la implantación en cuanto a diseño y construcción de la bomba Malda es accesible si se cuenta con un sistema industrial básico en cuanto a disponibilidad de equipos y formación de mano de obra se refiere.

#### **2.5.4.3. Facilidad de montaje, mantenimiento y reparación**

La bomba Malda es un sistema especialmente sencillo en cuanto a montaje se refiere. Al tratarse de un sistema de accionamiento lineal directo, carece de ejes o engranajes, las partes móviles se limitan al conjunto de varillas que es impulsado desde un mando en la cabeza de la bomba.

Las fases que conforman la instalación de la bomba son el acoplamiento de la base de la bomba en una plataforma estable, el enclavamiento del cuerpo de la bomba y el empalme de los conjuntos del sistema de ascensión y tramos de la varilla.





**Figura 2.27. Plano de conjunto de la bomba Malda**

Los aspectos de mantenimiento y reparación se concentrarán, previsiblemente, en observar y conservar el buen estado de los empalmes de la varilla y de las juntas de caucho del émbolo, que es necesario que esté en unas condiciones aptas para obtener un rendimiento del trabajo de bombeo lo más alto posible.

Otro punto débil del sistema es el casquillo de la guía situado en la cabeza de la bomba. Con el uso, la fricción entre el metal y el plástico debilitará el casquillo y será necesaria su sustitución. Se recomienda el uso de grasa para mejorar el juego entre ambos elementos. El buen estado de este casquillo es esencial para el funcionamiento de

la bomba, ya que su rotura o ausencia, sin impedir el funcionamiento básico de la misma, puede causar fallos en otros elementos del conjunto como son el eje de guiado y las uniones de los tramos de la varilla.

También habrá que prestar mucha atención al estado de la bomba frente a la corrosión, que puede presentarse principalmente en las uniones y cordones de soldadura, se deben de atajar lo antes posible mediante un tratamiento de pintura aislante y si es necesario, deberá reforzarse la unión.

#### **2.5.4.4. Resistencia a contaminación y abuso**

El diseño de la bomba permite una buena seguridad frente a agentes contaminantes accidentales sobre la fuente de agua si se trabaja con un pozo cerrado. Frente a acciones premeditadas para la contaminación del pozo, la bomba no ofrece gran seguridad.

La instalación de una válvula de no retorno en la boca del caño como se ha recomendado para otros modelos analizados (véase 2.4.4 / “*Resistencia a contaminación y abuso*”) según el modelo descrito en el ANEXO 1, puede ser una buena medida de prevención frente a acciones vandálicas.

Rodear a la bomba de una pequeña infraestructura que limite el acceso de ganado, vehículos y proteja a la bomba de aspectos climatológicos se recomienda en todos los casos.

Frente al uso excesivo o abusivo de la bomba Malda, los puntos más débiles residen en las uniones de la varilla, que pueden romperse bajo un nivel de estrés alto, y el tornillo de la carcasa superior, de métrica M6 que se puede partir debido a un fuerte impacto en la carrera de ascensión.

Es recomendable incorporar un tornillo adicional en la cubierta superior, y en caso de ser posible, aumentar la métrica de los mismos.

#### **2.5.4.5. Riesgos potenciales derivados del manejo**

Del manejo de la bomba no deriva ningún peligro reseñable, el punto de mayor riesgo es un posible punto de contacto entre el mando de accionamiento y la cubierta superior de la bomba.

#### **2.5.4.6. Intercambiabilidad de componentes**

El uso de elementos estándar en las uniones de la bomba hace que los mismos puedan ser reemplazados entre ellos, dando lugar a una solución provisional mientras se adquiere un repuesto del elemento.

El sistema de ascensión y la varilla son los conjuntos que permiten una mejor intercambiabilidad de componentes, además de que el trabajo con materiales plásticos facilita reparaciones sencillas y rápidas.

### **3. DISEÑO DE BANCO DE ENSAYOS**

Tras realizar el análisis previo de los equipos se procederá a comenzar la siguiente fase del proyecto, el montaje de las instalaciones en el laboratorio, apoyándonos en los criterios y medios que se definirán en este capítulo.

#### **3.1. Objetivos**

En el presente capítulo se desarrollan los pasos que se llevarán a cabo para el diseño y la implementación en el espacio proporcionado por la Universidad Carlos III de Madrid en su parque tecnológico de la ciudad de Leganés, del laboratorio y las instalaciones y equipos necesarios para el estudio de los diversos sistemas de bombeo mecánico de agua que tendrán lugar en el laboratorio.

Además, se procederá al diseño específico de la instalación para el estudio concreto de la bomba AFRIDEV.

#### **3.2. Requerimientos y características necesarias**

El laboratorio está destinado tanto al estudio, análisis y desarrollo de las tecnologías de bombeo de agua manuales, como a ser un espacio demostrativo y de formación, por lo tanto la distribución del espacio debe de permitir el desarrollo pleno de ambas actividades sin interferencias.

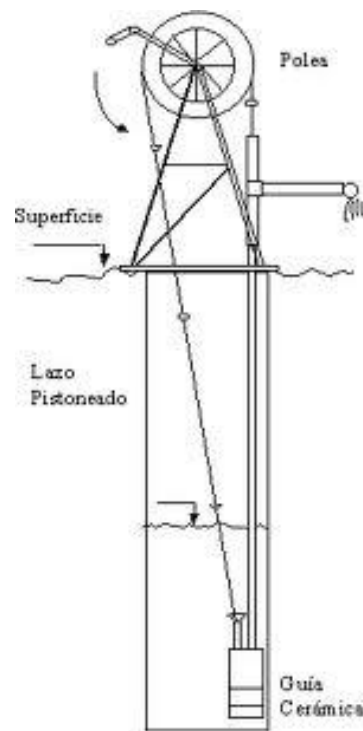
En este espacio, en concreto en el que se refiere al estudio de los sistemas de bombeo manuales, que es el que abarca el presente proyecto, se trabajará en el mismo espacio con tres bancos de ensayos que pertenecen a los de los modelos de bombas Afridev y Malda, y al sistema de “bomba de mecate”.

En todos los bancos de ensayo deberá poder aprovecharse, cuando sea necesario, de la máxima profundidad de bombeo disponible en el laboratorio.

En el caso concreto de la bomba Afridev (figura 3.1) y del sistema de mecate (figura 3.2), su modo de actuación sobre el mecanismo de bombeo, hace necesario que dispongan de un espacio cómodo y amplio para el usuario, en el caso de la bomba Malda (figura 3.3), no contamos con este inconveniente a la hora de trabajar con el mecanismo de actuación.



**Figura 3.1. Modelo de bomba Afridev**



**Figura 3.2. Sistema de mecate**



**Figura 3.3. Modelo de bomba Malda**

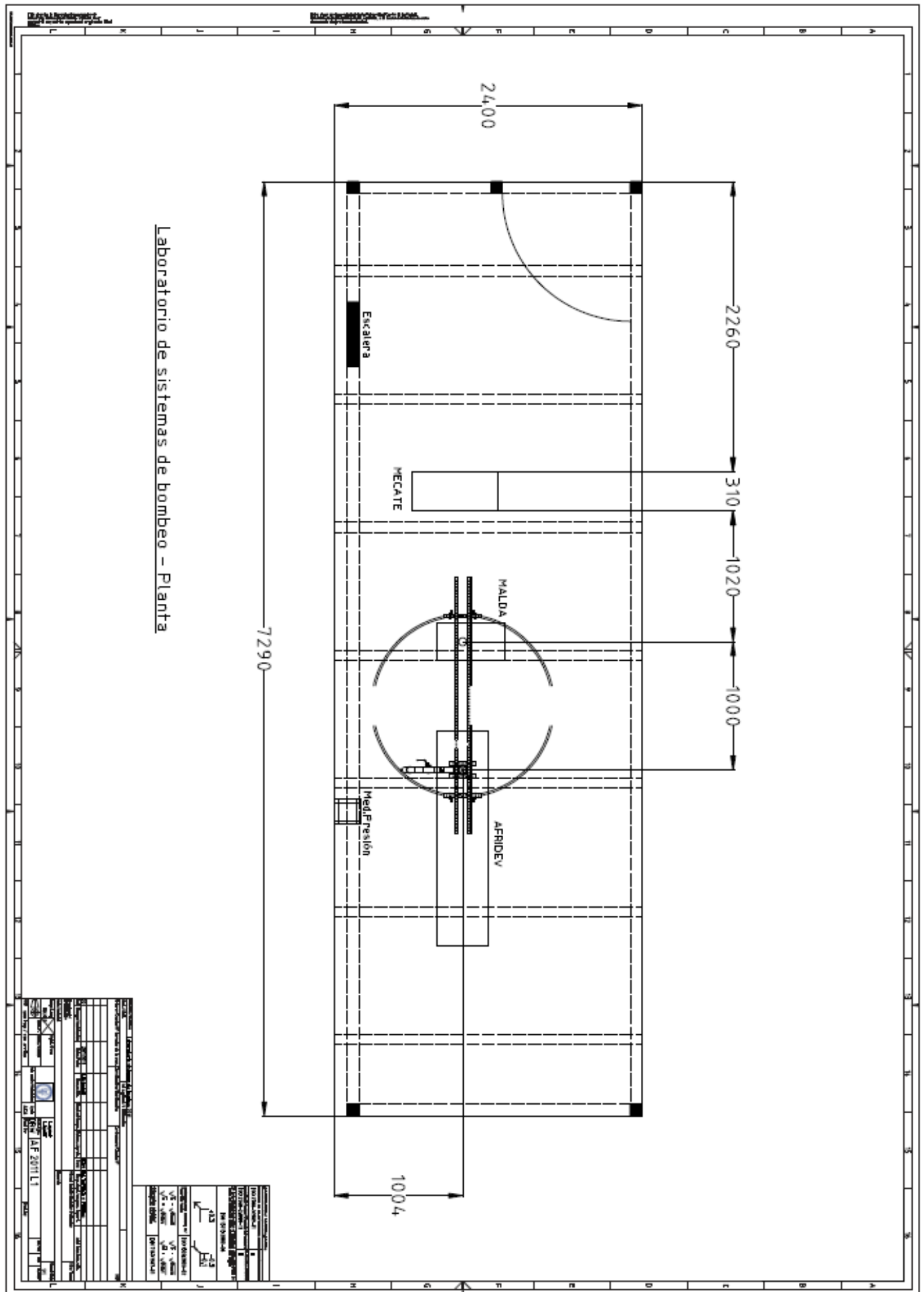
En todo caso, si consideramos que el espacio que ocupa cada bomba es el formado por el cuerpo de la bomba, el dispositivo de retorno de agua, junto con el espacio necesario para que el operario pueda realizar el trabajo de bombeo en las mejores condiciones, tendremos que considerar que hay que facilitar un acceso visual correcto para las actividades demostrativas.

Se añade a este último aspecto que se ha de tener en cuenta que para ciertas pruebas, todas las bombas podrían estar trabajando simultáneamente y por lo tanto será muy importante que no haya interacción entre bombas.

### **3.3. Diseño y distribución del laboratorio**

Teniendo en cuenta las características básicas que se han enumerado anteriormente, obtenemos una distribución final del laboratorio que se puede observar a continuación en el layout de la instalación AF 2011 L1.

Este plano se toma como referencia real a la hora del montaje, y parte de una serie de pruebas previas a la fijación final de los sistemas de bombeo en las que se ha verificado el correcto modo de operación en el espacio disponible.





### 3.4. Diseño del banco de ensayos para bomba Afridev

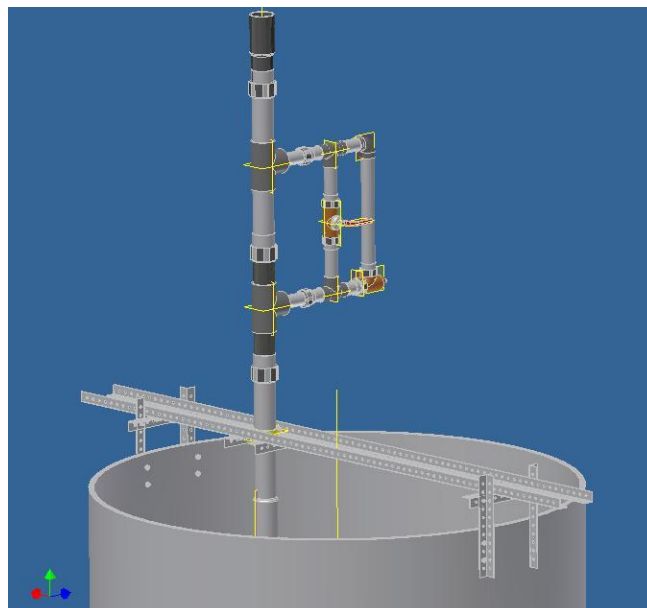
Para el diseño del banco de ensayos para la bomba Afridev se ha partido como base, del aprovechamiento de la instalación original suministrada por la empresa Meera&Ceiko, y se ha adaptado para simular las condiciones de trabajo real de la bomba.

Los principios para el diseño han sido los siguientes:

- Capacidad de simular profundidades hasta 50m.
- Posibilidad de trabajo sin sobre presión a 4 y 8m de altura.
- Distancia mínima entre tubería de succión y base del depósito de 0.5m.
- Accesibilidad y facilidad de reparación y/o sustitución de piezas.
- Sistema de retorno que acepte el caudal de agua generado en el bombeo.
- Estabilidad y seguridad de la instalación.
- Empleo del menor número de herramientas posibles.
- Máxima estandarización de componentes.

#### 3.4.1. Planos y especificaciones de la instalación

En el ANEXO 1 situado al final de la documentación, se detallan las especificaciones de la instalación implementada para pruebas sobre la bomba Afridev.



### **3.4.2 Instalación y mantenimiento**

En este capítulo se describe el modo de instalación del banco de ensayos y los aspectos de mantenimiento que se suponen serán necesarios cuando se establezca un régimen de operación normal con el mismo.

Se realizará una descripción detallada de la instalación dividiéndola en cuatro bloques, estructura de sujeción, sistema de ascensión, sistema de presión, bloque de la bomba y circuito de retorno, y se incluye además el modo de acoplamiento de los sistemas de medida implementados en el banco de ensayo.

#### **3.4.2.1. Estructura de sujeción**

La estructura se compone básicamente, como observamos en los planos de la instalación, de perfiles taladrados comerciales. Partiendo de una longitud estándar (2m), dividiremos los perfiles en las secciones que sean necesarias y se realizará el ensamblaje de la estructura metálica según planos mediante los tornillos y tuercas correspondientes, asegurando una correcta fijación. Conviene utilizar arandelas de presión tipo “grower” para asegurar un apriete correcto en la estructura.

Se realizarán ocho taladros en el depósito, cuyo material es PVC, y se procederá a instalar la estructura en el depósito, asegurando un apriete importante entre depósito y los perfiles correspondientes.

Con el uso de la instalación es recomendable revisar el apriete de todos los tornillos periódicamente, ya que esta estructura soporta los esfuerzos generados por el pistón, tanto en la carrera de subida como en la de bajada.

Como el corte en los perfiles genera en los mismos una zona de posible debilidad a la corrosión, también habrá que revisar la integridad y el estado de los perfiles y, caso de ser necesario, proceder a la sustitución de alguno de los perfiles, tornillos o tuercas.

### **3.4.2.2. Sistema de ascensión**

La particularidad del montaje del sistema de ascensión reside en que al incorporar una junta de sellado en un punto del mismo (como se indica en los planos de la instalación), y la varilla de actuación sobre el pistón lleva uniones roscadas, el montaje ha de realizarse con la varilla colocada en posición de trabajo en el circuito de ascensión.

Para proceder correctamente en el montaje de la instalación, se asegurará en primer lugar el anclaje del grupo formado por el cilindro y la boca de absorción con la estructura soporte del depósito, los empalmes por soldadura de PVC se realizarán previamente, y se ensamblarán los diversos bloques mediante las uniones roscadas ya con la varilla en su posición.

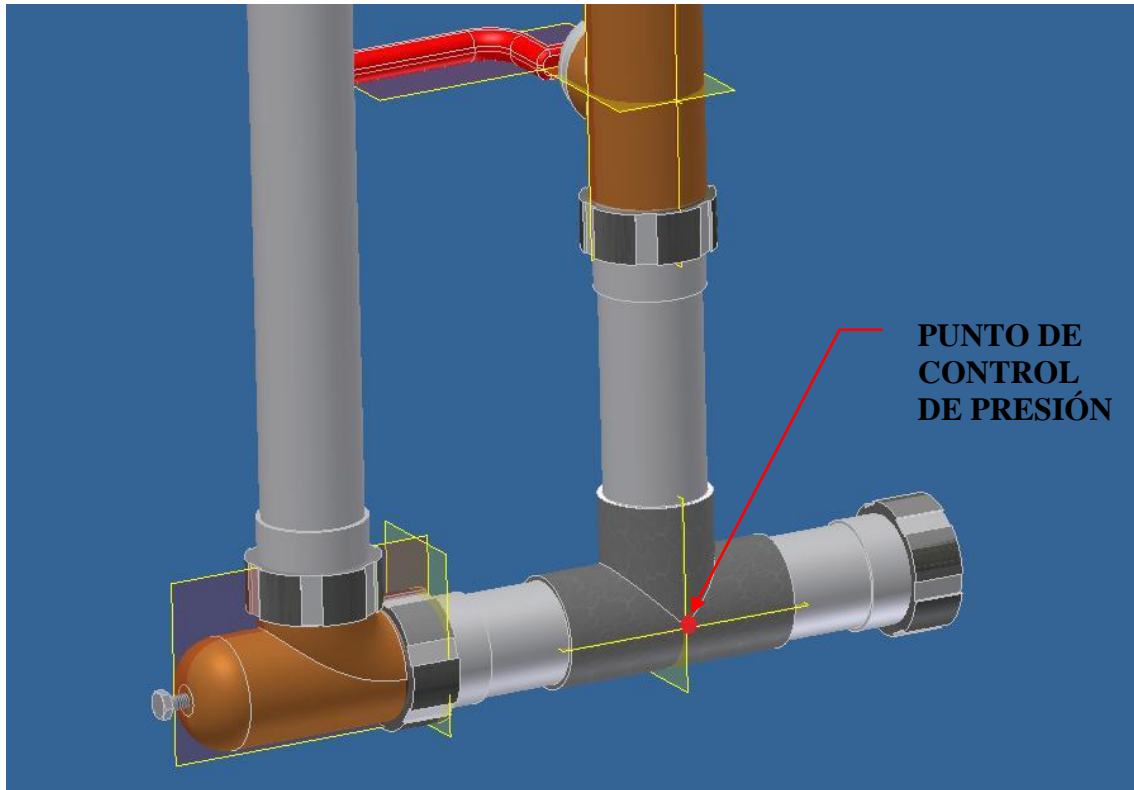
La unión entre el cuerpo de la bomba y el circuito de ascensión se realiza mediante un empalme estándar y un conducto de la longitud apropiada, a partir del sistema original proporcionado por el fabricante.

El mantenimiento de este circuito consiste en la revisión de posibles pérdidas en las uniones tanto roscadas como soldadas, dando especial importancia a las situadas antes del punto de sellado y entrada al circuito de presión.

### **3.4.2.3. Sistema de presión**

El sistema de presión se compone principalmente de uniones mediante soldadura de PVC. Para el acople, tanto de la llave de paso, como de la válvula de presión, se utilizarán sus correspondientes racores.

En este punto de la instalación, justo antes de la válvula de presión, se llevará a cabo la medición de la presión. El sensor utilizado necesita una entrada de presión de 6mm y para la conexión usaremos manguitos de la casa “Legris” de 4mm y 6mm, el punto de control en la instalación se puede observar en la figura 3.4. En ese punto se acopla el empalme rápido para 4mm, mediante una conexión de expansión unimos los conductos de 4 y 6mm respectivamente.



Será muy importante revisar con frecuencia las uniones tanto roscadas como soldadas, además de comprobar la integridad de los conductos, ya que este sistema será el que se vea sometido a mayores esfuerzos hidráulicos.

#### **3.4.2.4 Cuerpo de la bomba**

El cuerpo de la bomba Afridev no sufre ninguna modificación con respecto a su configuración original, su montaje se realizará según las especificaciones del fabricante. Con respecto al acople en la estructura del laboratorio, éste se realizará mediante tornillos, tuercas de métrica M8 y los grupos de arandelas correspondientes.

Para mejorar la estabilidad del sistema, se han incluido unas secciones elásticas de caucho para que el contacto entre la superficie de la base de la bomba y la estructura se realice con cierto amortiguamiento, restándole rigidez y tensión a la unión.

Se comprobarán periódicamente los aprietes de los tornillos en la base de la bomba.

#### **3.4.2.5. Circuito de retorno**

El caudal proporcionado se recogerá en una cubeta colocada de manera apropiada a la salida del caño de la bomba Afridev y se dirige a un conducto de DN40mm que conduce el caudal de regreso al depósito. Los conductos se amarrarán mediante abrazaderas a la pared del laboratorio de forma que se asegure su correcta estabilidad.

El sistema instalado durante la realización de este proyecto tenía un carácter provisional por lo que no se detallarán planos.

En el tramo final de este sistema se acoplará el caudalímetro, de manera que quede lo más accesible a la vista posible.

### 3.4.3. Presupuesto

Concepto	Artículo	Uds	Descripción	Precio unidad	Precio total	Distribuidor
<b>Sellado</b>						
	Junta de cierre ECO3444	1	Junta de cierre material ECORUBBER presión mínima 10bar	16,82 €	16,82 €	SKF
	Transporte		Coste de envío de junta SKF		42,73 €	SEUR
	Arandela PVC	1	Arandela en PVC adaptada a T de D60mm	5 €	5 €	KETERSA
	Arandela PVC	1	Arandela en PVC adaptada a T de D60mm	4,70 €	4,70 €	KETERSA
	TE PVC D63	1	TE en PVC de D63mm	3,80 €	3,80 €	KETERSA
			<b>TOTAL</b>		<b>73,05 €</b>	
<b>Sistema de ascensión</b>						
	Unión D63	3	Unión tres piezas DN63mm P	2,71 €	8,13 €	SANEAMIENTOS PEREDA
	TE PVC D63	1	TE en PVC de D63mm	1,13 €	1,13 €	SANEAMIENTOS PEREDA
			<b>TOTAL</b>		<b>9,26 €</b>	
<b>Sistema de presión</b>						
	Casquillo reductor	2	Casquillo reductor 63 50	0,36 €	0,72 €	SANEAMIENTOS PEREDA
	Casquillo reductor	2	Casquillo reductor 50 40	0,28 €	0,56 €	SANEAMIENTOS PEREDA
	Terminal rosca	4	Terminal rosca macho 40	0,32 €	1,28 €	SANEAMIENTOS PEREDA
	Reducción	2	Reducción M H 1 3/4	0,32 €	0,64 €	SANEAMIENTOS PEREDA
			<b>TOTAL</b>		<b>3,2 €</b>	
<b>Anclaje cuerpo de bomba</b>						
	Tornillos	4	Tornillos M8x60	1 €	4 €	FERROKEY
			<b>TOTAL</b>		<b>4 €</b>	

Estructura de soporte						
	Tornillo	12	Tornillo M6x14	0,18 €	2,16 €	BRICOFER
	Tuerca	12	Tuerca M6	0,05 €	0,6 €	BRICOFER
	Tornillo	8	Tornillo M8x30	0,42 €	3,36 €	BRICOFER
	Tuerca	8	Tuerca M8	0,1 €	0,8 €	BRICOFER
	Perfil	3	30x2.5x2000mm	6 €	18 €	BRICOFER
				TOTAL		24,92 €
Sistema de retorno						
	Contador	1	Contador PICO FLUX DN13 AF RAC+V	15,19 €	15,19 €	SANEAMIEN TOS PEREDA
	Terminal	2	Terminal rosca hembra 32	0,38 €	0,76 €	SANEAMIEN TOS PEREDA
	Reducción	1	Reducción M H 1 3/4	0,32 €	0,32	SANEAMIEN TOS PEREDA
	Codo PVC	3	Codo PVC Hembra-Hembra 87° de 32mm	0,3047 €	0,91 €	FERROKEY
	Abrazadera	8	Abrazadera Metali.AM- 32R=AM-32	0,3171 €	2,54 €	FERROKEY
	Tornillo	8	Tornillo Team-M6	0,085 €	0,34 €	FERROKEY
	Taco/Blister	8	Blister Taco S8 KP	0,22 €	0,88 €	FERROKEY
			TOTAL		20,94 €	
TOTAL:					135,37 €	

Tabla 3.1. Desglose de presupuesto

**\*NOTA:** En el cálculo de este presupuesto sólo se han tenido en cuenta los gastos del actual proyecto.

Para costes de los equipos adquiridos previamente, remitirse al proyecto “Diseño de un banco de ensayos de bombas manuales; Jaime Arroyo Fdez-Raña; PFC. Universidad Carlos III de Madrid 2006”

## **4. PUESTA EN MARCHA DEL BANCO DE ENSAYOS DE LA BOMBA AFRIDEV**

Terminado el montaje de las instalaciones en el laboratorio, el siguiente paso consiste en realizar la puesta en marcha de la instalación.

Para ello previamente se han definido una serie de ensayos y objetivos mínimos necesarios que se detallan en el presente capítulo.

### **4.1. Objetivos**

Mediante los ensayos realizados se ha comprobado la fiabilidad del diseño de la instalación de pruebas de la bomba Afridev y se ha procedido así mismo a verificar los equipos auxiliares de medición, por medio de los cuales se realizará en la continuación del presente proyecto, el análisis del funcionamiento de esta bomba.

Derivado de la realización de estos ensayos se ha obtenido una primera caracterización del funcionamiento de la bomba Afridev, mediante la cual se pueden representar los principios y características básicas de su capacidad de trabajo.

A sí mismo se ha realizado una caracterización ilustrativa de la potencia necesaria para poder llevar a cabo el trabajo de bombeo por parte del usuario de la bomba y cómo influyen los diferentes parámetros que caracterizan el trabajo realizado en el bombeo de agua en el esfuerzo final desarrollado por el usuario.

### **4.2. Principios y requerimientos aplicados**

A la hora de comprobar la fiabilidad de la instalación del banco de pruebas se han tenido en cuenta aspectos y exigencias que garanticen poder llevar a cabo los ensayos requeridos para realizar tanto la caracterización inicial de la bomba, como para



poder admitir futuros ensayos en los que se solicite un incremento en la exigencia de trabajo del banco de ensayos.

El análisis se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la independencia de los diversos bloques de trabajo que conforman la instalación de la bomba, y haciendo hincapié en los requerimientos mínimos acorde a sus solicitudes específicas, estos aspectos se describen con detalle a continuación.

#### **4.2.1. Sistema de ascensión de agua**

El sistema de ascensión de agua está compuesto exclusivamente por los materiales originales que fueron proporcionados por el fabricante de la bomba Meera & Ceiko Pumps Pvt. Ltd. y para su análisis se ha observado el ensamblaje de los diferentes elementos que lo conforman y la fiabilidad de los mismos a la hora de conducir el caudal generado.

Este sistema, como podemos observar en la figura 4.1 está constituido básicamente por tuberías de PVC de diámetro nominal 63mm, y el ensamblaje entre sus diversos tramos se realiza mediante conexión simple entre tuberías por presión, y como se indica en los planos de montaje, sin aplicar ningún tipo de soldadura química entre tramos.

Por lo tanto el aspecto básico a tener en cuenta en esta parte de la instalación es comprobar y valorar las posibles pérdidas de caudal, que de tener lugar se producirían en las uniones, y verificar que la sección escogida para los conductos tiene la capacidad suficiente para admitir el caudal de trabajo y la presión.



**Figura 4.1. Sistema de ascensión de agua**

#### **4.2.2. Sistema de bombeo**

Esta parte de la instalación está compuesta por el grupo que conforman el cilindro, el pistón, el eje de actuación, la unión entre el eje y la palanca, y la válvula de pie. Todos los elementos son originales de la instalación estándar de la bomba, habiendo sido adaptado en el caso del eje de actuación a la altura de trabajo del banco de pruebas.

Para este sistema se ha comprobado la fiabilidad del ensamblaje entre los diferentes elementos y su capacidad bajo sollicitaciones exigentes de trabajo.

En el caso particular del conjunto formado por el grupo cilindro-pistón-válvula de pie que podemos observar en la figura 4.2 se ha comprobado el caudal aportado mediante el ensayo denominado “test de descarga”, ensayo que aporta una valoración inicial y muy característica de la calidad del diseño y fabricación de la bomba.

Para el eje se ha comprobado la fiabilidad de las uniones de sus diferentes tramos, la unión con el pistón y el anclaje con la palanca frente a los esfuerzos generados en la bomba.



**Figura 4.2. Sistema de bombeo**

#### **4.2.3. Circuito de presurización**

Este sistema se ha diseñado para poder generar de manera controlada la profundidad de un pozo mediante el acoplamiento de una válvula de presión y poder simular la capacidad de la bomba en condiciones de trabajo real.

Los test realizados tienen el objetivo de determinar la precisión de este sistema a la hora de generar las condiciones de trabajo, las pérdidas hidráulicas que aporta al sistema, y comprobar la fiabilidad del ensamblaje del circuito en condiciones de trabajo en todo el rango de exigencia.

Los materiales que conforman este circuito, como se muestra en la figura 4.3, no son los propios suministrados por el fabricante de la bomba, por lo que los ensayos

están enfocados a observar factores que puedan tener influencia directa sobre el funcionamiento estándar del montaje original de la bomba y la calidad del diseño a la hora de cumplir su función.

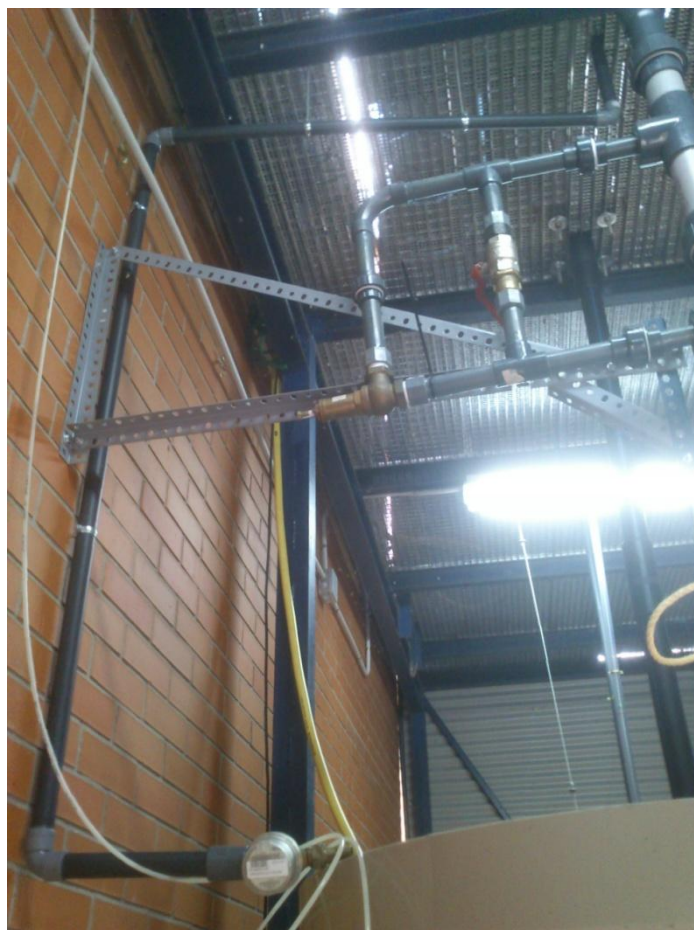


**Figura 4.3. Circuito de presurización**

#### **4.2.4. Circuito de retorno de agua**

En cuanto al circuito de retorno, este debe de tener la capacidad de desalojar al menos el mismo caudal que el máximo proporcionado por el trabajo de bombeo del sistema para evitar situaciones de desbordamiento en la cubeta de recepción.

En cuanto a consideraciones prácticas, el circuito debe de cumplir condiciones de seguridad para los usuarios y observadores, no interrumpiendo en el espacio de trabajo, y manteniendo una seguridad estructural adecuada.



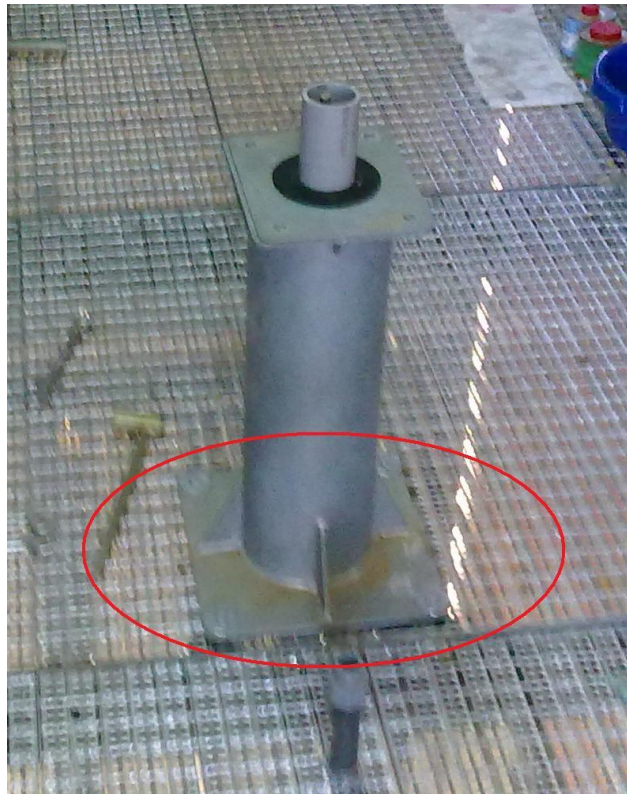
**Figura 4.4. Circuito de retorno de agua**

#### **4.2.5. Anclajes**

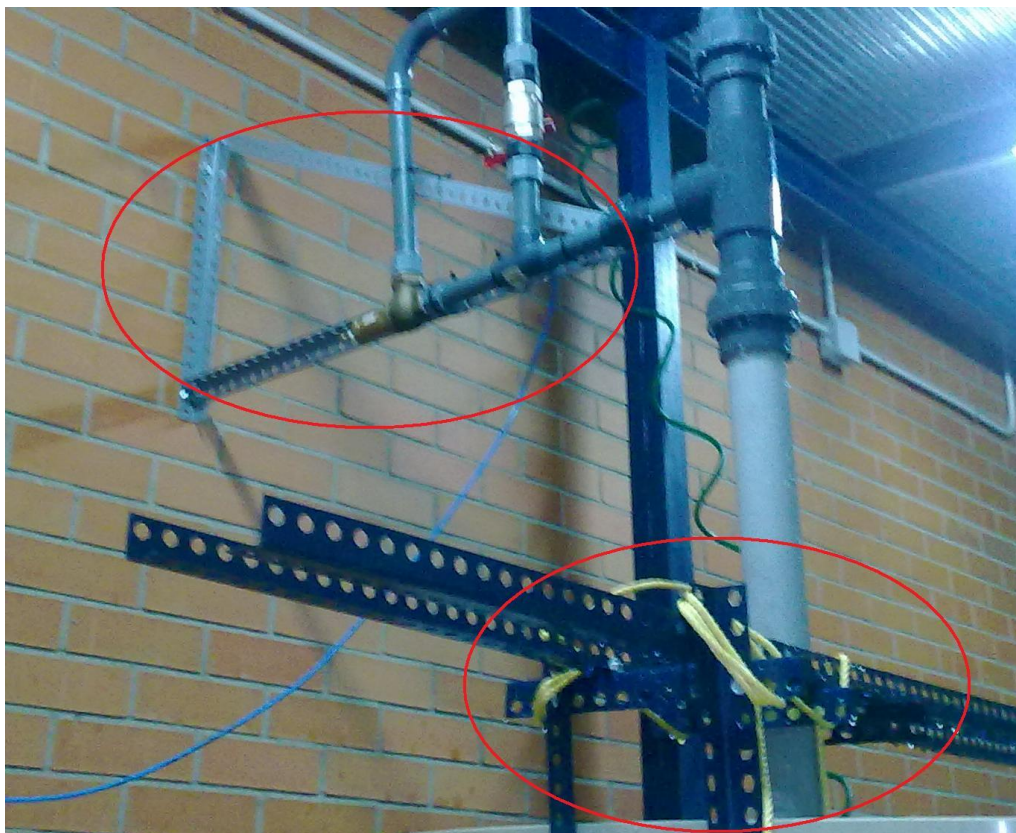
Debido a la infraestructura y las condiciones del laboratorio, no se dan las condiciones estándar para la implantación de la bomba Afridev, los puntos de sujeción aportados en el diseño deben de ser capaces de absorber los esfuerzos generados en el bombeo, proporcionar estabilidad y rigidez a la instalación y no generar tensiones adicionales al sistema.

En la instalación, como se puede observar en la figura 4.5 y en la figura 4.6, se dan tres puntos críticos de sujeción, en la base de la bomba, en la cota del circuito de presurización y en la cota del depósito de agua. Durante el funcionamiento de la bomba, la misma ha de tener un comportamiento totalmente estable.





**Figura 4.5. Detalle del anclaje de la base del cuerpo de la bomba**



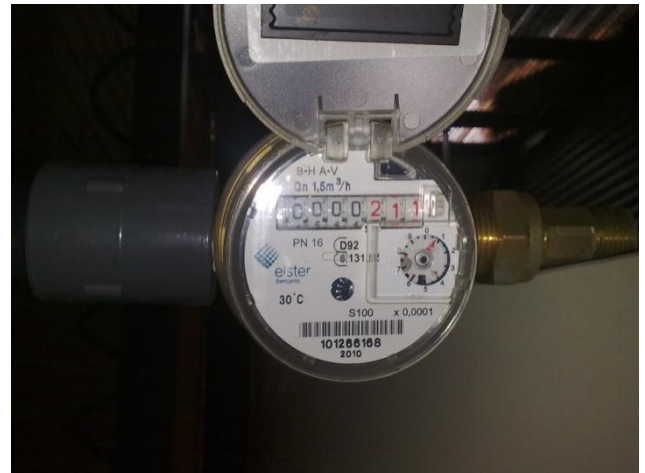
**Figura 4.6. Detalle de los anclajes del circuito de presión y entre el sistema de ascensión y el depósito**

#### 4.2.6. Equipos auxiliares

En la caracterización de la bomba Afridev se va a parametrizar la presión de funcionamiento y el caudal obtenido, los elementos de medición, para que sean útiles en el modo de funcionamiento de la bomba, han de tener unos valores de umbral y una precisión de lectura acordes al caudal y a la altura de trabajo que se quieren caracterizar, en los tests ambos elementos se someten a las condiciones extremas de trabajo para su verificación.



**Figura 4.7. Sensor de presión**



**Figura 4.8. Caudalímetro**



### **4.3. Ensayo 1. Test de descarga**

El ensayo del “test de descarga” es una prueba básica y necesaria para verificar el buen comportamiento del sistema y el rendimiento del pistón.

La realización de este test está recomendada por la SKAT y la RWSN, estableciendo un baremo con un gran margen de error, al imponer como condición obtener un volumen desalojado no inferior a 16,5 litros tras una serie de 40 paladas completas en un minuto.

Mediante el ensayo realizado en nuestro banco de ensayos trataremos de aproximar a un valor más fiable el rendimiento del conjunto del cilindro variando el procedimiento de la prueba, al no tener en cuenta desviaciones en cuanto a la frecuencia de operación del test.

#### **4.3.1. Descripción del ensayo de “Test de descarga”**

Para la toma de medidas se utiliza una cubeta de un volumen total no inferior a 6 litros con marcas cada 0,25 litros y se recogerá el volumen desalojado por la bomba tras un número de 10 paladas completas, comenzando contabilizar volumen cuando se haya alcanzado un régimen de caudal constante, aproximadamente 10 carreras completas del pistón.

Se realizarán cuatro medidas de este volumen desalojado, estimándose la media y comparándola con el caudal esperado ideal que es de 0,47 litros por carrera.

Todo el test se realizará con el cilindro ensamblado en el depósito con el nivel de volumen de agua mínimo estándar para el funcionamiento de la bomba, esto es con la válvula de pie sumergida al menos 1m bajo la superficie, y con el sistema bajo condiciones de presión atmosférica, 4 metros de desnivel en el caso de nuestra instalación.

### 4.3.2. Resultados obtenidos

Tras las medidas realizadas se obtienen las siguientes medidas de volumen desalojado, descritas en la tabla 4.1, tras 10 paladas completas del sistema en las condiciones especificadas en la descripción del ensayo.

Volumen desalojado (litros) tras 10 paladas			
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4
4,5	4,5	4,5	4,5
VALOR MEDIO: 4,5 litros			

**Tabla 4.1. Resultados del test de descarga**

### 4.3.3. Análisis de resultados

Podemos concluir que en el caso del equipo instalado en nuestro laboratorio, el caudal obtenido por carrera de trabajo es de 0,45 litros. Esto supone un rendimiento volumétrico de aproximadamente el 94% con respecto al caudal ideal esperado, y que se considera aceptable teniendo en cuenta que este rendimiento supone una pérdida de 0,02 litros por carrera o de 1 litro cada 50 paladas completas.

Así mismo, este dato del rendimiento se ajusta a los parámetros requeridos tanto por la SKAT como por la RWSN, ya que si interpolamos los resultados, obtendríamos un valor de 18 litros obtenidos cada 40 ciclos, un volumen superior a los 16,5 litros marcados por los anteriores organismos como valor mínimo.

### 4.3.4. Caudal máximo

Derivado del test de descarga obtenemos un dato importante que será utilizado en futuros cálculos, ya que tendremos en cuenta que el caudal máximo capaz de desarrollar nuestra bomba en las condiciones de operación de nuestro laboratorio será de 0,45 litros por segundo, obtenido a partir de la siguiente estimación:

$$Q_{\max .sistema} = \frac{0.5carrera}{seg} \cdot \frac{0.45litros}{carrera} = 0.225l / seg \quad (4.1)$$

Teniendo en cuenta que el caudal efectivo únicamente se desarrolla durante la carrera de ascensión, el caudal desarrollado por tanto será el doble:

$$Q_{MAX} = 0.45l / seg \quad (4.2)$$

#### **4.4. Ensayo 2. Caracterización y calibración del sistema de presión**

Mediante este ensayo se ha regulado y verificado el funcionamiento del sistema de presión diseñado. Este sistema de presurización simula una altura para el trabajo de bombeo mediante la aplicación de una presión equivalente por medio de una válvula de presión ajustable, la caracterización de este sistema viene determinada por la desviación de la presión aplicada al circuito con respecto a los valores teóricos de presión esperada y por las pérdidas hidráulicas que aporta al circuito.

##### **4.4.1. Descripción del ensayo**

Comenzaremos realizando un cálculo teórico de las pérdidas generadas en el circuito de presión utilizando para ello la ecuación de Bernoulli con pérdidas. Con este dato podremos comparar las perdidas generadas en la instalación del banco de ensayos con respecto a la instalación implantada en un pozo de profundidad real.

Para la calibración de la válvula que genera la altura, trabajaremos con dos valores distintos de presión que serán determinados de forma diferente, un primer valor es la presión teórica  $P_T$ , la presión de referencia con respecto a la cual se regula el sistema. El otro dato será el valor de presión real  $P_R$  que obtendremos empíricamente de nuestra instalación por medio de un sensor de presión.

#### 4.4.2. Pérdida de carga en el circuito de presión

La figura 4.9 representa es una representación esquemática del circuito de presión con la nomenclatura correspondiente que será utilizada en los cálculos. En ella constan los elementos que lo componen, como son las tuberías (a,...,i), los empalmes, codos, tes, válvula de seguridad y llave de paso.

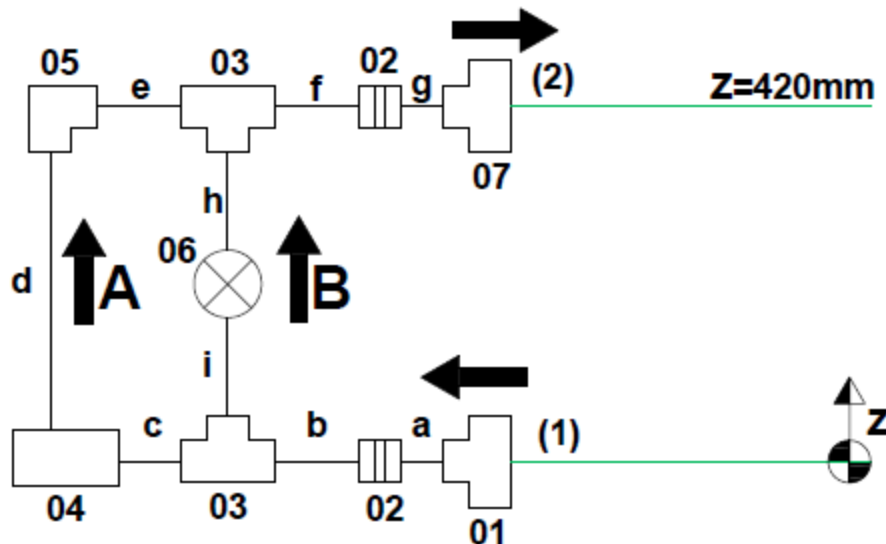


Figura 4.9. Esquema del circuito de presión

En el circuito se observan dos recorridos diferentes, el A que es el circuito principal diseñado para los ensayos de la bomba en condiciones de presurización, y el circuito B, que será utilizado para funciones demostrativas de la bomba sin presurizar.

La selección de los circuitos se realiza manualmente mediante el elemento 06 que se corresponde con una válvula de compuerta.

##### 4.4.2.1. Principios aplicados

Para el cálculo de la pérdida de carga en el circuito de presión se han aplicado los principios de conservación de la energía en los fluidos, utilizando la ecuación de Bernoulli con pérdidas (3), y considerando que el fluido de trabajo es agua con una densidad de  $\rho=1000\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  y una viscosidad de  $\mu=1002\cdot 10^{-6}\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ .

$$\Delta P_v = \left( \frac{1}{2} \rho V_1^2 + P_1 + \rho g z_1 \right) - \left( \frac{1}{2} \rho V_2^2 + P_2 + \rho g z_2 \right) \quad (4.3)$$

Las pérdidas a tener en cuenta en el circuito son las denominadas pérdidas primarias, debidas a la fricción propia que se produce en los conductos que se pueden calcular mediante la expresión (4.4), derivada de la ecuación de Bernoulli y donde  $f$  es el factor de fricción propio de los conductos:

$$(P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1) - (P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \frac{L}{D} \cdot f \left\{ \text{Re}; \frac{\varepsilon}{D} \right\} \quad (4.4)$$

Y las pérdidas secundarias, en las que se tiene en cuenta los efectos particulares de la geometría de los elementos que componen el circuito mediante el coeficiente  $K$  presente en la ecuación (4.5):

$$\Delta H = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot K \quad (4.5)$$

Podemos trabajar con una expresión general (4.6) que tenga en cuenta ambos tipos de pérdidas y aplicado a todo el circuito completo:

$$\Delta H = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{f \cdot L}{D} + \sum K_i \right) \quad (4.6)$$

En todo caso, el valor de la velocidad empleado en las expresiones será el máximo derivado del mayor caudal generado en la bomba, para obtener la caracterización del sistema más restrictiva.

#### 4.4.2.2. Descripción del flujo

Comenzaremos describiendo el flujo que tenemos en el circuito de presión trabajando a máximo caudal, para ello calcularemos el número de Reynolds (4.7), que es un factor adimensional que caracteriza el comportamiento del fluido:

$$Re = \frac{\rho V_{\max} D}{\mu} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{ll} Re < 2000; & \text{Laminar} \\ Re > 4000; & \text{Turbulento} \end{array} \right\} \quad (4.7)$$

El valor de  $D$  es la sección interior de los conductos  $D=36,2mm$  que permanece constante en todo el circuito, y para el cálculo del término de la variable velocidad (4.8), usaremos el valor de  $Q_{MAX}$  que hemos obtenido en la expresión (4.2):

$$V_{\max} = \frac{Q_{MAX}}{A} = \frac{450 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot \frac{(36,2 \cdot 10^{-3})^2}{4} m^2} = 437,22 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s} \quad (4.8)$$

Por lo tanto, calculando el valor del número de Reynolds obtenemos que se trata de un flujo turbulento:

$$Re = \frac{1000 \cdot 437,22 \cdot 10^{-3} \cdot 36,2 \cdot 10^{-3}}{1002 \cdot 10^{-6}} = 15795,77 > 4000 \quad (4.9)$$

Con este valor de Reynolds podemos calcular adicionalmente la longitud de la zona de entrada mediante la fórmula (4.10), y definir si el flujo está o no desarrollado a su paso por el circuito que tiene una longitud de aproximadamente 1200mm por la vía del camino A.

$$\frac{l_e}{D} \approx 4,4 \cdot Re^{\frac{1}{6}}; l_e = 797,84mm \quad (4.10)$$

Podemos observar que la longitud de la zona de entrada es menor que la cuerda del circuito.

#### 4.4.2.3. Descripción de los elementos

El siguiente paso a tener en cuenta el cálculo de las pérdidas para ambos circuitos A y B, es la descripción de los elementos que componen el circuito y la configuración que afecta a cada una de las vías.

Para el cálculo de las pérdidas primarias se tendrá en cuenta la longitud de los conductos descrita en la tabla 4.2 y el factor de fricción de los conductos.

Conjunto	Posición	Tubería	Longitud (m)	Plano
AF 00 0002	8	a	0,120	AF 00 0014
AF 00 0003	3	b	0,080	AF 00 0021
AF 00 0003	3	c	0,080	AF 00 0021
AF 00 0003	1	d	0,347	AF 00 0019
AF 00 0003	3	e	0,080	AF 00 0021
AF 00 0003	3	f	0,080	AF 00 0021
AF 00 0002	8	g	0,120	AF 00 0014
AF 00 0003	2	h	0,128	AF 00 0020
AF 00 0003	2	i	0,128	AF 00 0020

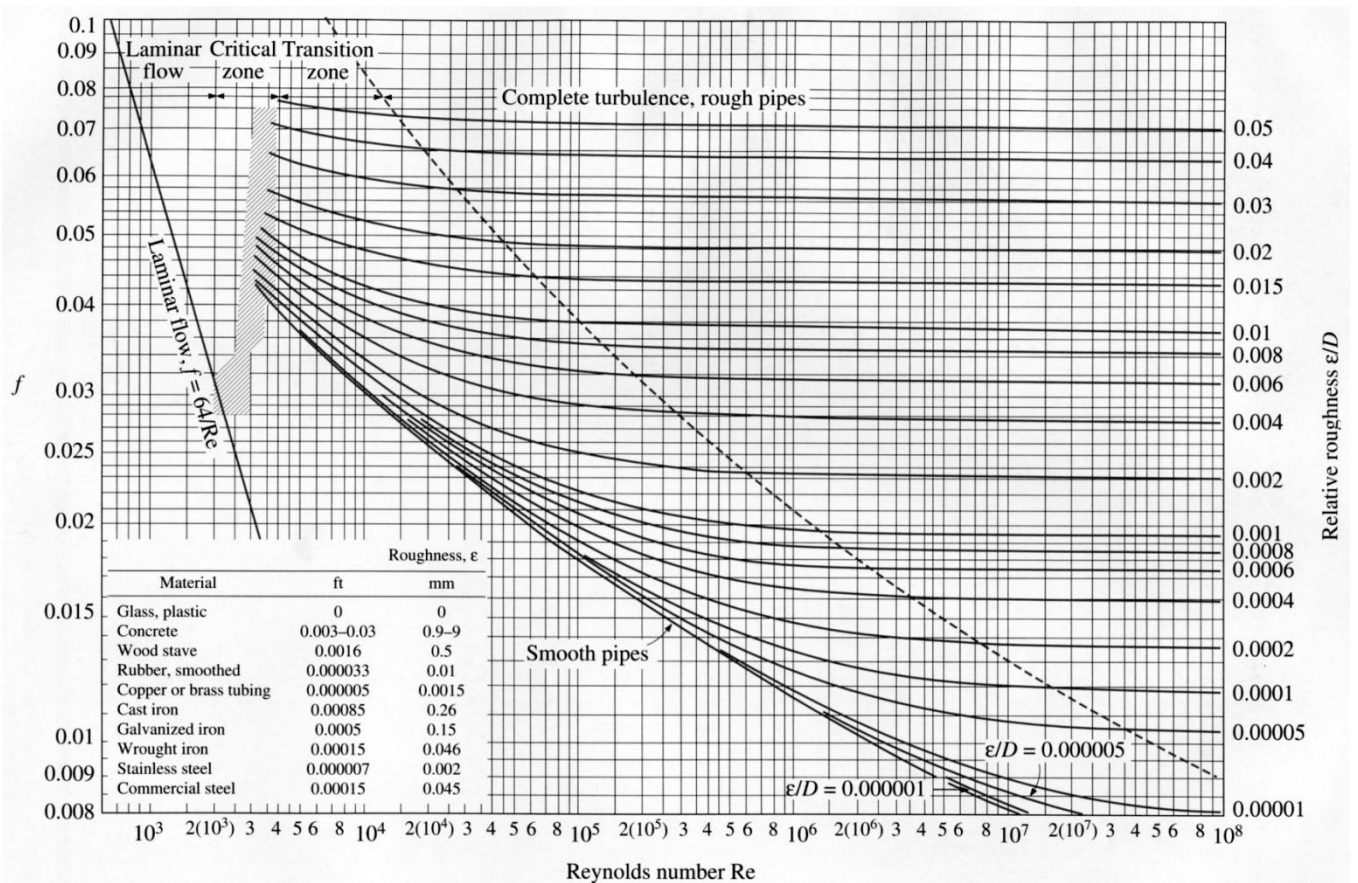
**Tabla 4.2. Longitud de los conductos**

La determinación del factor de fricción  $f$  se realizará mediante interpolación en el diagrama de Moody representado en la figura 4.10, en función de la rugosidad relativa calculada mediante el cociente (4.11) que tiene en cuenta la rugosidad absoluta  $\varepsilon$  del PVC, que es el material de las tuberías y el diámetro del conducto, y el valor del número de Reynolds calculado en la expresión (4.9):

$$\frac{\varepsilon_{PVC}}{D} = 4,143 \cdot 10^{-5}; \left\{ \begin{array}{ll} \varepsilon_{PVC} = 0,0015mm & R.Absoluta \\ D = 36,2mm & Sección \end{array} \right\} \quad (4.11)$$

Contando con este dato de la rugosidad relativa y un valor de  $Re=15795,77$  que denota que trabajamos con un flujo turbulento, obtenemos que el valor de carácter adimensional del factor de fricción que se representa en la expresión (4.12) y que será el aplicado en la fórmula (4.6) para obtener la pérdida de carga total del circuito:

$$f\left\{\frac{\varepsilon_{PVC}}{D}; Re\right\} = 0,0275 \quad (4.12)$$



**Figura 4.10. Diagrama de Moody**

Para el cálculo de las pérdidas secundarias utilizamos el valor singular del coeficiente de pérdidas  $K$  del elemento singular, que en caso de valores muy elevados del número de Reynolds ( $Re \gg 1$ ), como es nuestro flujo, se podrá suponer que depende únicamente de la geometría de nuestro elemento.

Los valores del coeficiente de pérdidas de cada elemento de nuestro circuito figuran en la tabla 4.3, y han sido obtenidos mediante tablas de características.



Elemento	$K_i$
01	0,5
02	0,08
03(A)	0,19
03(B)	0,8
04	2,5
05	0,3
06	0,15
07	1

**Tabla 4.3. Coeficientes de pérdidas  $K_i$**

#### 4.4.2.4. Cálculo y evaluación de la pérdida de carga

Con los datos representados en los apartados anteriores, estamos en disposición de calcular las pérdidas que se generan en cada circuito cuando circula el máximo caudal que puede generarse en la bomba.

##### ➤ Pérdidas en el circuito A

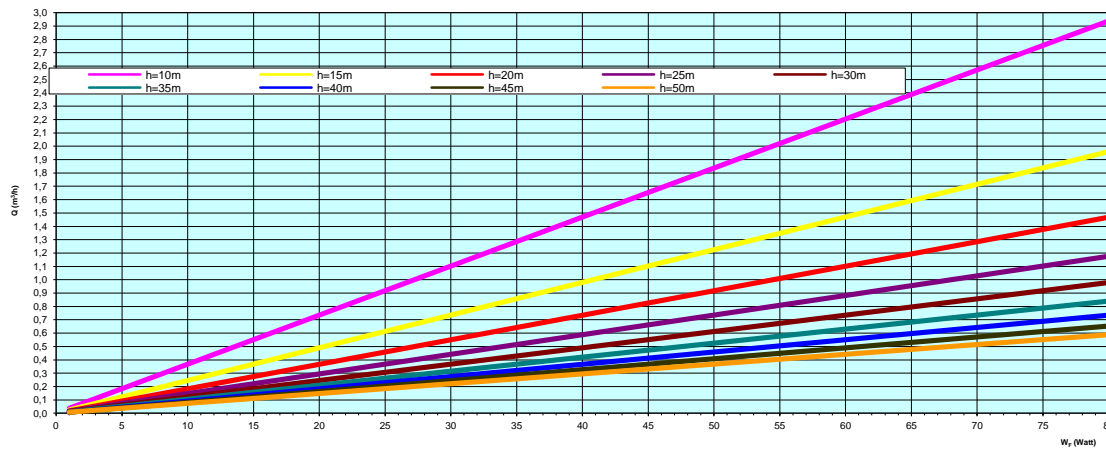
Comenzando por la evaluación correspondiente al circuito principal, aplicando la fórmula (4.6) obtenemos el siguiente valor:

$$\Delta H_A = 0,054m \quad \text{ó} \quad \Delta P_A = 528,47Pa$$

Para analizar el efecto de esta magnitud en el funcionamiento de la bomba, se compara de forma porcentual con la presión teórica generada en la bomba en orden de funcionamiento en su rango de operación.

Profundidad (m)	Presión (Pa)	% Pérdidas
10	98000	0,539
15	147000	0,360
20	196000	0,270
25	245000	0,216
30	294000	0,180
35	343000	0,154
40	392000	0,135
45	441000	0,120
50	490000	0,108

**Tabla 4.4. Porcentaje de pérdidas vía A**



**Gráfico 4.1. Influencia de las pérdidas con la profundidad**

Podemos comparar las pérdidas generadas por el circuito de presión, con las pérdidas que se generan en una instalación real sin circuito para simular la altura, que son de carácter primario.

Utilizamos para ello la fórmula (4.4) de pérdidas primarias junto con los datos de la tabla 4.5, que se han particularizado para las condiciones de montaje estándar de la bomba en un pozo, generando el caudal máximo.

$V$ (m/s)	0,199
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1000
$f$	0,032
$D$ (m)	0,054

**Tabla 4.5. Valores para instalación estándar**

Profundidad (m)	Pérdida de carga estándar (m)	Pérdida de carga estándar (Pa)
10	0,012	118,77
15	0,018	178,15
20	0,024	237,54
25	0,030	296,92
30	0,036	356,31
35	0,042	415,69
40	0,048	475,07
45	0,055	534,46
50	0,061	593,84

**Tabla 4.6. Pérdida de carga teórica para la instalación sin circuito de presión**

Se puede calcular que el porcentaje que supone el factor de pérdidas primarias en el circuito de ascensión es un valor constante independientemente de la profundidad del pozo:

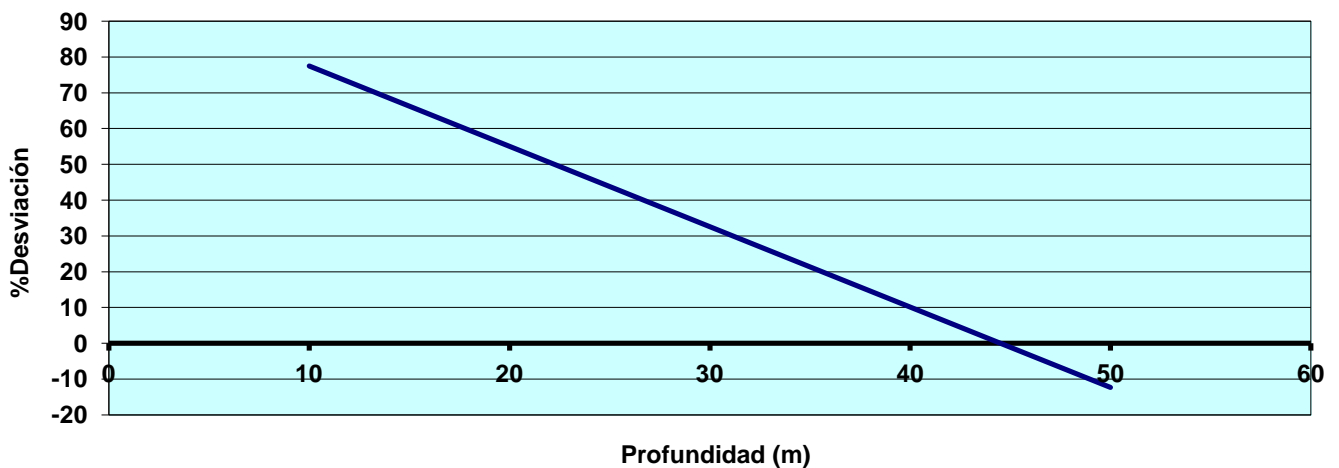
$$\% \text{Pérdidas circuito de ascensión} = 0,12\%$$

La desviación porcentual que se observa entre la influencia de las pérdidas generadas mediante nuestro sistema de simulación frente a los valores generados en una instalación estándar tiene una progresión lineal que se refleja en el gráfico 4.2, del que podemos extraer la conclusión de que la instalación ofrece su mejor grado de fidelidad en el entorno de los 45 metros de profundidad.

Pérdida de carga estándar (Pa)	%Desviación
118,8	77,5
178,2	66,3
237,5	55,1
296,9	43,8
356,3	32,6
415,7	21,3
475,1	10,1
534,5	-1,1
593,8	-12,4

\* $\Delta P_A = 528,46 \text{ Pa}$

**Tabla 4.7. Desviación de pérdidas**



**Gráfico 4.2. Aproximación de los valores de pérdidas**

Teniendo en cuenta que la magnitud del valor de las pérdidas generadas en el circuito de presurización oscilan entre el **0,2 – 0,1%** de la presión de trabajo, y que las mismas tienen una semejanza aceptable con respecto a las pérdidas teóricas que se generarían en un montaje estándar de la bomba en el rango de profundidades de trabajo

habituales, se puede considerar que el efecto del circuito de presión tiene una influencia realista y despreciable sobre el rendimiento de la bomba.

➤ Pérdidas en el circuito B

Pese a descartar la influencia de las pérdidas, viendo la influencia creciente de las mismas inversamente proporcional con la profundidad, es necesario verificar el efecto del mismo sobre este circuito.

Aplicaremos de nuevo la expresión (4.6), con la particularidad, de que la única altura de trabajo sobre la que debemos comparar permanece constante en 4 metros, por la configuración de nuestro banco de ensayos, el resultado es el siguiente:

$$\Delta H_B = 0,033m \quad \text{ó} \quad \Delta P_B = 325,93Pa$$

Este valor de pérdida de carga supone un porcentaje del 0,83% sobre la altura de trabajo, según se refleja en la tabla 4.8, y debido al uso meramente demostrativo de la instalación en esta configuración, se considera que este margen de pérdida es totalmente asumible.

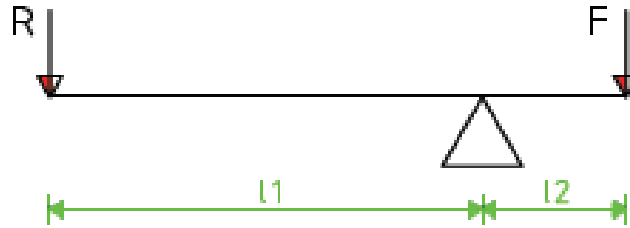
Profundidad (m)	Presión (Pa)	%Pérdidas
4	39200	0,83

**Tabla 4.8. Porcentaje de pérdidas vía B**

#### **4.4.3. Cálculo de presión teórica $P_T$**

La presión teórica que se ha de aportar al sistema, es equivalente a la altura de la columna de agua que hemos de elevar para desalojar el volumen correspondiente a la carrera completa del pistón.

Se ha aplicado el principio de equilibrio de momentos en el eje de la bomba de la manera mostrada en la figura 4.11:



**Figura 4.11. Diagrama de equilibrio de fuerzas**

En un lado de la bomba tenemos el esfuerzo creado por la columna de agua  $F$ , y en el extremo contrario tenemos el esfuerzo aplicado por el operario  $R$ .

#### **4.4.3.1. Simulación de altura de columna de agua**

La simulación de la columna de agua equivalente, se recrea en nuestro sistema por medio de la válvula de presión que actúa en el circuito. Para poder regular el grado de actuación de la válvula necesario para que se traduzca en una carga equivalente a la columna de agua, hemos aplicado un esfuerzo conocido y contrario con el cual podemos compararlo y regularlo.

El cálculo de la carga de esta columna se ha calculado directamente aplicando la fórmula:

$$P_c(h) = (P - P_a) = (\rho \cdot g \cdot h) \quad (4.13)$$

Dónde  $\rho$  y  $g$  son las constantes de la densidad del agua y la aceleración de la gravedad respectivamente y  $h$  es la variable de la altura de la columna de agua.

Teniendo en cuenta el área del pistón, obtenemos la fuerza equivalente, que es representada en la siguiente tabla:

$h$ (m)	$P$ (Pa)	$F$ (N)	$F$ (Kg)
10	98000	221,13	22,56
15	147000	331,69	33,85
20	196000	442,26	45,13
25	245000	552,82	56,41
30	294000	663,39	67,69
35	343000	773,95	78,97
40	392000	884,52	90,26
45	441000	995,08	101,54
50	490000	1105,64	112,82

**Tabla 4.9. Representación de la fuerza equivalente.**

#### **4.4.3.2. Simulación de esfuerzo del operario**

Debido a las características de este ensayo, necesitamos aportar al sistema un esfuerzo conocido para realizar el equilibrio de momentos en el eje de la bomba. El par que tenemos que crear con el esfuerzo aplicado en el lado de la palanca tiene que ser el mismo que el creado por la columna de agua.

Como la palanca tiene diversas posiciones podemos regular el par aportado al sistema y aplicar un esfuerzo apropiado al orden de funcionamiento de la bomba y al esfuerzo que puede realizar el usuario.

Para ello se ha dividido la palanca en cuatro tramos, por ser un incremento razonable de la longitud de la palanca, que cuenta una variación mínima de 40mm entre posiciones. Las posiciones determinadas para el ensayo, correspondientes a la longitud  $l_l$  de la figura 4.11, son las siguientes:

Posición	$l_1$ (m)
P1	0.65
P2	0.76
P3	0.93
P4	1.09

**Tabla 4.10. Posiciones de trabajo**

Teniendo en cuenta estos parámetros se realiza una iteración para obtener la carga a aplicar y la posición de la palanca correspondiente, marcando como valor restrictivo que el esfuerzo aplicado nunca sea mayor de 20kg (196N) en todo el rango de alturas de trabajo de la bomba, que equivale aproximadamente a un tercio del peso medio de una persona, que son 65kg según la *FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)* y se considera un esfuerzo adecuado.

Los resultados obtenidos de esta iteración se representan en la tabla 4.11 y para su cálculo se ha utilizado la siguiente expresión (4.15), en la que no se ha tenido en cuenta el incremento debido al peso de la varilla.

Estas expresiones son el resultado de resolver el equilibrio de momentos en el eje de la palanca según el esquema de la figura 4.11.

$$A[\rho \cdot g \cdot h]l_2 = R \cdot l_1 \quad (4.14)$$

$$h = \frac{R \cdot l_1}{l_2 \cdot A \cdot \rho \cdot g}; \left\{ \begin{array}{l} l_2 = 0,225m \\ A = 0,0225m^2 \\ \rho = 1000kg \cdot m^{-3} \\ g = 9,8m \cdot s^{-2} \end{array} \right\} \quad (4.15)$$

$R$ (kg)	$R$ (N)	Pos.	$h$ (m)	$R$ (kg)	$R$ (N)	Pos.	$h$ (m)
6	58,8	P1	8,83	13	127,4	P3	27,37
6	58,8	P2	10,32	13	127,4	P4	32,07
6	58,8	P3	12,63	<b>14</b>	<b>137,2</b>	<b>P1</b>	<b>20,60</b>
6	58,8	P4	14,80	14	137,2	P2	24,08
<b>7</b>	<b>68,6</b>	<b>P1</b>	<b>10,30</b>	14	137,2	P3	29,47
7	68,6	P2	12,04	14	137,2	P4	34,54
7	68,6	P3	14,74	15	147	P1	22,07
7	68,6	P4	17,27	15	147	P2	25,80
8	78,4	P1	11,77	15	147	P3	31,58
8	78,4	P2	13,76	15	147	P4	37,01
8	78,4	P3	16,84	16	156,8	P1	23,54
8	78,4	P4	19,74	16	156,8	P2	27,52
9	88,2	P1	13,24	16	156,8	P3	33,68
<b>9</b>	<b>88,2</b>	<b>P2</b>	<b>15,48</b>	16	156,8	P4	39,48
9	88,2	P3	18,95	<b>17</b>	<b>166,6</b>	<b>P1</b>	<b>25,01</b>
9	88,2	P4	22,21	17	166,6	P2	29,24
10	98	P1	14,71	<b>17</b>	<b>166,6</b>	<b>P3</b>	<b>35,79</b>
10	98	P2	17,20	17	166,6	P4	41,94
10	98	P3	21,05	18	176,4	P1	26,48
10	98	P4	24,67	<b>18</b>	<b>176,4</b>	<b>P2</b>	<b>30,97</b>
11	107,8	P1	16,18	18	176,4	P3	37,89
11	107,8	P2	18,92	18	176,4	P4	44,41
11	107,8	P3	23,16	19	186,2	P1	27,95
11	107,8	P4	27,14	19	186,2	P2	32,69
12	117,6	P1	17,66	<b>19</b>	<b>186,2</b>	<b>P3</b>	<b>40,00</b>
12	117,6	P2	20,64	<b>19</b>	<b>186,2</b>	<b>P4</b>	<b>46,88</b>
12	117,6	P3	25,26	20	196	P1	29,43
12	117,6	P4	29,61	20	196	P2	34,41
13	127,4	P1	19,13	20	196	P3	42,10
13	127,4	P2	22,36	<b>20</b>	<b>196</b>	<b>P4</b>	<b>49,35</b>

Tabla 4.11. Parámetros de iteración

El valor conocido aplicado  $R$  es creado mediante un juego de pesas de acero colocadas en el extremo de la palanca.

Por tanto, para la caracterización del sistema se han empleado las configuraciones de carga y posición de palanca reflejadas en la siguiente tabla 4.12:

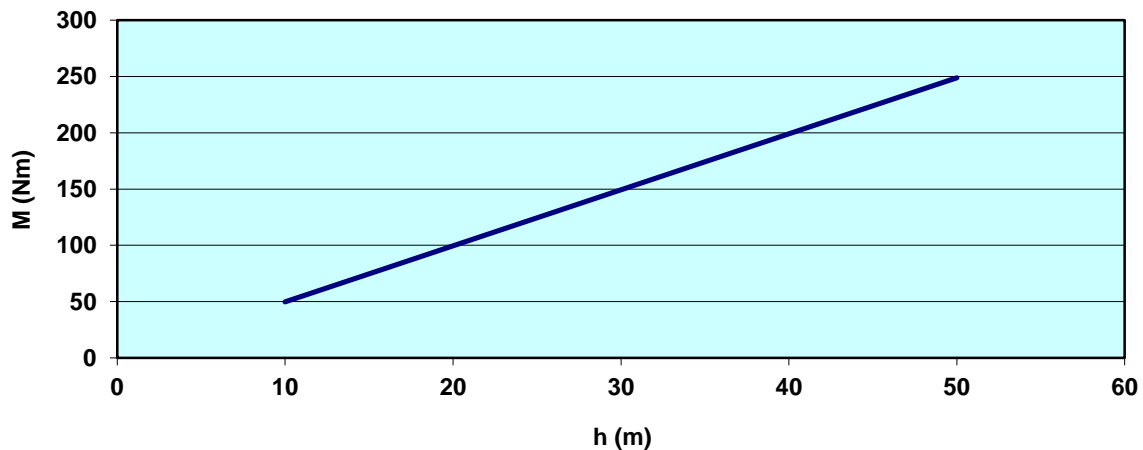


Simulación (m)	h (m)	R (kg)	Pos.	P <sub>TEÓRICA</sub> (bar)
10	10,30	7	P1	1,009
15	15,48	9	P2	1,517
20	20,60	14	P1	2,018
25	25,01	17	P1	2,451
30	30,97	18	P2	3,034
35	35,79	17	P3	3,507
40	40,00	19	P3	3,919
45	46,88	19	P4	4,594
50	49,35	20	P4	4,835

**Tabla 4.12. Configuraciones de carga**

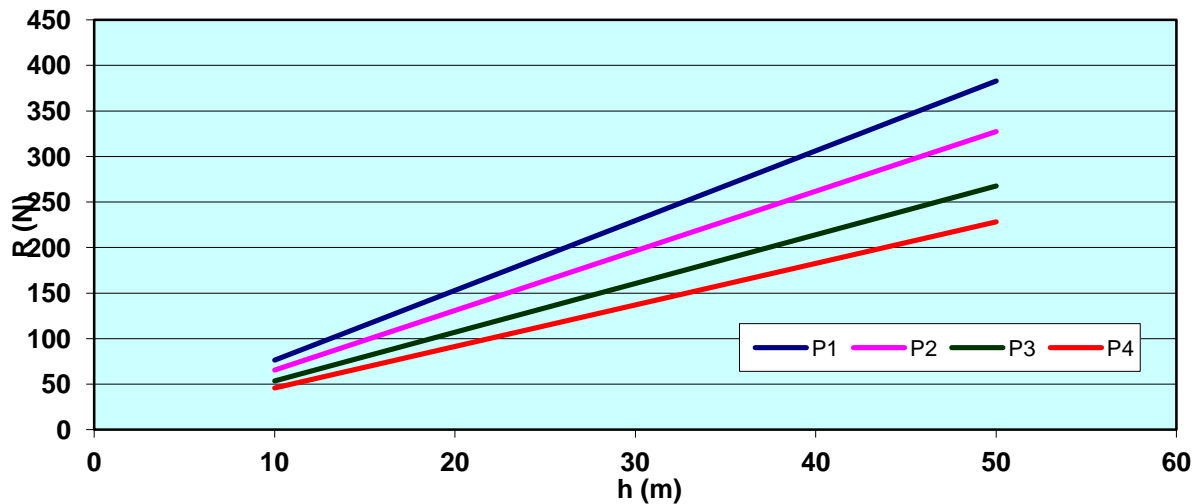
#### 4.4.3.3. Curva de par teórico

A continuación se muestra la curva de par de funcionamiento teórica para realizar el trabajo de bombeo que se deduce de la ecuación (4.14), y que determinará el esfuerzo a realizar según la posición de la palanca, como se observe en el gráfico 4.4.



**Gráfico 4.3. Par de bombeo teórico**

$$R = \frac{l_2}{l_1} \cdot A \cdot [\rho \cdot g \cdot h] \quad (4.16)$$



**Gráfico 4.4. Esfuerzo según posición de la palanca**

#### 4.4.4. Calibración del sistema

La calibración del sistema se realiza tomando el valor de la presión, registrada por un medidor de presión, en el momento en el que la palanca permanece en un estado de equilibrio estático debido a la actuación de ambas cargas.

Se partirá del estado de carga conocido proporcionado por las pesas acopladas a la palanca, y se regulará la válvula de presión hasta conseguir alcanzar y mantener el punto de equilibrio. Para cada toma es importante conseguir un caudal constante para asegurar que el circuito completo está trabajando bajo las condiciones normales de operación.

#### 4.4.5. Medida de presión real $P_R$

La presión real que obtenemos en el circuito de ascensión se mide mediante un sensor de presión acoplado mediante conductos de la casa Parker Legris en un punto del sistema de presurización.



**Foto 4.12. Conexión entre el circuito de presurización y el sensor de presión**

El sensor empleado es el modelo PTX1000 de la marca Druck y la presión se visualiza mediante un display digital también de la casa Druck, en concreto el modelo B000-09315646/DPI280 con una resolución de 0.001 bares.

Las medidas obtenidas mediante el sensor de presión en los distintos test están reflejadas en la siguiente tabla:

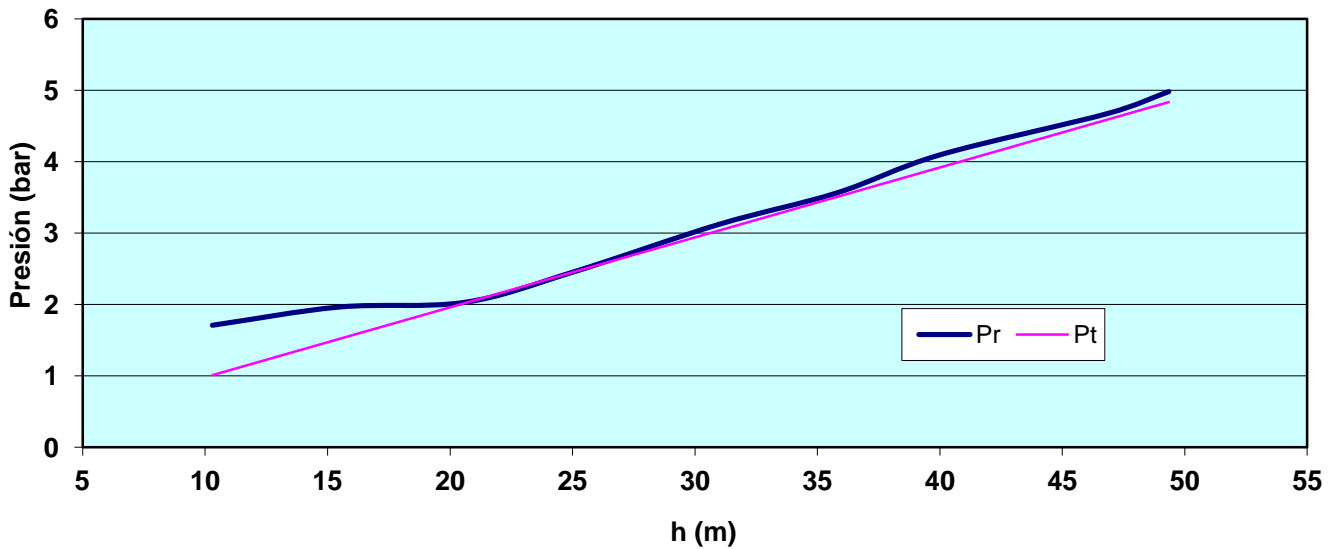
Simulación (m)	$h$ (m)	$R$ (kg)	Pos.	$P_T$ (bar)	$P_R$ (bar)
10	10,30	7	P1	1,009	1,710
15	15,48	9	P2	1,517	1,965
20	20,60	14	P1	2,018	2,031
25	25,01	17	P1	2,451	2,453
30	30,97	18	P2	3,034	3,112
35	35,79	17	P3	3,507	3,563
40	40,00	19	P3	3,919	4,096
45	46,88	19	P4	4,594	4,678
50	49,35	20	P4	4,835	4,938

**Tabla 4.13. Medidas obtenidas de  $P_R$**

#### 4.4.6. Comparación de resultados

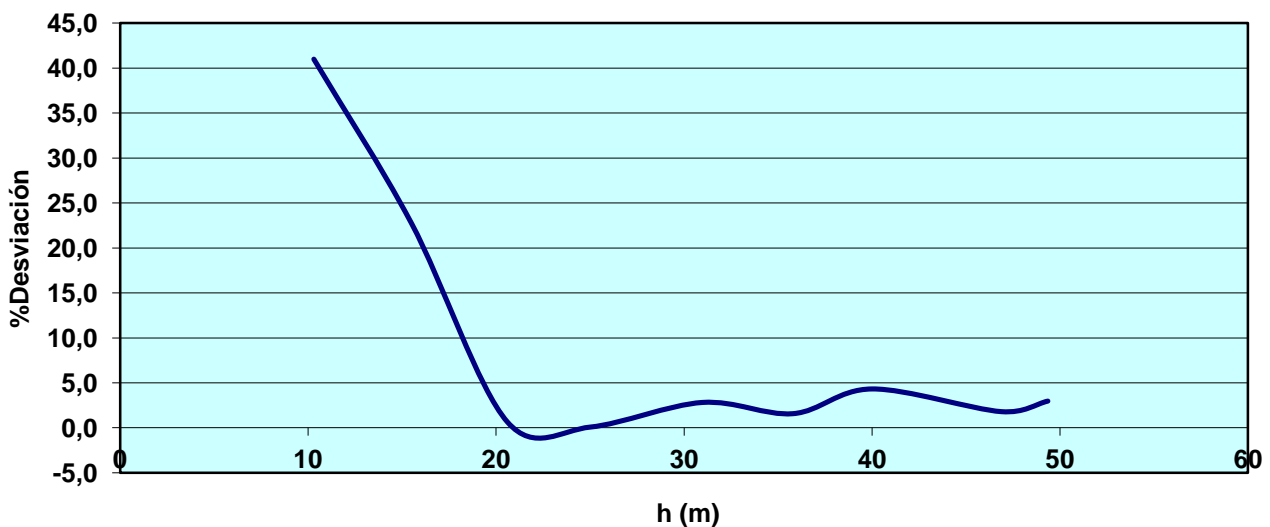
Comparando los resultados de la presión obtenida mediante el sensor con los datos esperados que se habían calculado teóricamente se obtiene el comportamiento real del sistema.

La desviación de los resultados reales con respecto a los teóricos se observan en el siguiente gráfico:



**Gráfico 4.5. Desviación de presiones**

Podemos extraer la conclusión de que la simulación de la altura mediante nuestro sistema de presurización tiene un comportamiento bastante fiel con respecto al esperado en el entorno de 20 – 50m, según se puede apreciar mediante los porcentajes de desviación reflejados en el gráfico 4.6, mientras que la utilización del mismo para simular trabajo a profundidades menores de 15m quedaría descartado, optándose por el aprovechamiento del desnivel asumible en el propio laboratorio, en el que se puede trabajar dentro del entorno de los 10 metros de profundidad.



**Gráfico 4.6. Porcentaje de desviación entre  $P_R$  y  $P_T$**

### **4.5. Ensayo 3. Simulación del peso de la varilla**

Mediante este ensayo, se realizará una aproximación teórica de la disminución de la potencia de bombeo ejercida por el usuario que produce el peso de la varilla, en función de la profundidad del pozo que se desee simular.

#### **4.5.1. Descripción del ensayo**

Debido a las características de diseño del cuerpo de la bomba Afridev y de la propia infraestructura que forma el sistema de bombeo, se encuentra una dificultad a la hora de diseñar un sistema que simule físicamente el peso de la varilla con la cual transmitimos el esfuerzo de la palanca al pistón de la bomba.

Este efecto es muy importante por tratarse de una varilla de acero inoxidable, con una sección de doce milímetros (12mm), y que puede llegar a tener (según los límites de las condiciones de trabajo de la bomba Afridev) hasta cincuenta metros (50m) de longitud, éste sería el equivalente a 45kg de carga.

Para obtener un rendimiento realista del trabajo realizado es, por tanto, necesario tener en cuenta este esfuerzo, que tiene un efecto negativo sobre el rendimiento del bombeo en la carrera de ascensión de la columna de agua, y establecer una relación con el caudal de agua obtenido.

Realizaremos una aproximación teórica del esfuerzo basándonos en la carga variable producida por la longitud de la varilla según la profundidad del pozo, para poder hacer una relación con la potencia desarrollada por el usuario.

#### **4.5.2. Principios**

En primer lugar vamos a definir el esfuerzo general que se realiza mediante la labor de bombeo y las componentes del mismo.

La ecuación que define este trabajo es la siguiente:

$$W_T = W_E + W_V \quad (4.17)$$

El término  $W_T$  se refiere a la potencia total desarrollada durante el bombeo, y es igual al esfuerzo efectivo de elevar la columna de agua que genera el caudal ( $W_E$ ), sumado a la potencia dedicada al trabajo no útil de desplazar la varilla en su movimiento vertical ( $W_V$ ).

En el presente análisis se definirá y analizará el término  $W_V$  correspondiente a la carga de la varilla y la relación con el caudal generado.

#### **4.5.3. Potencia creada por el peso de la varilla**

Podemos considerar que el par creado por la carga variable de la varilla, de sentido opuesto al realizado por el usuario desde la palanca de la bomba en la carrera de ascensión, crea una potencia que se opone al esfuerzo de bombeo y que podemos definir como una potencia de frenado. Una expresión del término de potencia que podemos usar es el siguiente:

$$W = M \cdot \omega \quad (4.18)$$

La potencia generada es directamente proporcional al par ( $M$ ) y a la frecuencia ( $\omega$ ) de trabajo del sistema, y podemos rescribir la ecuación 4.17 en función de estos parámetros de la siguiente manera:

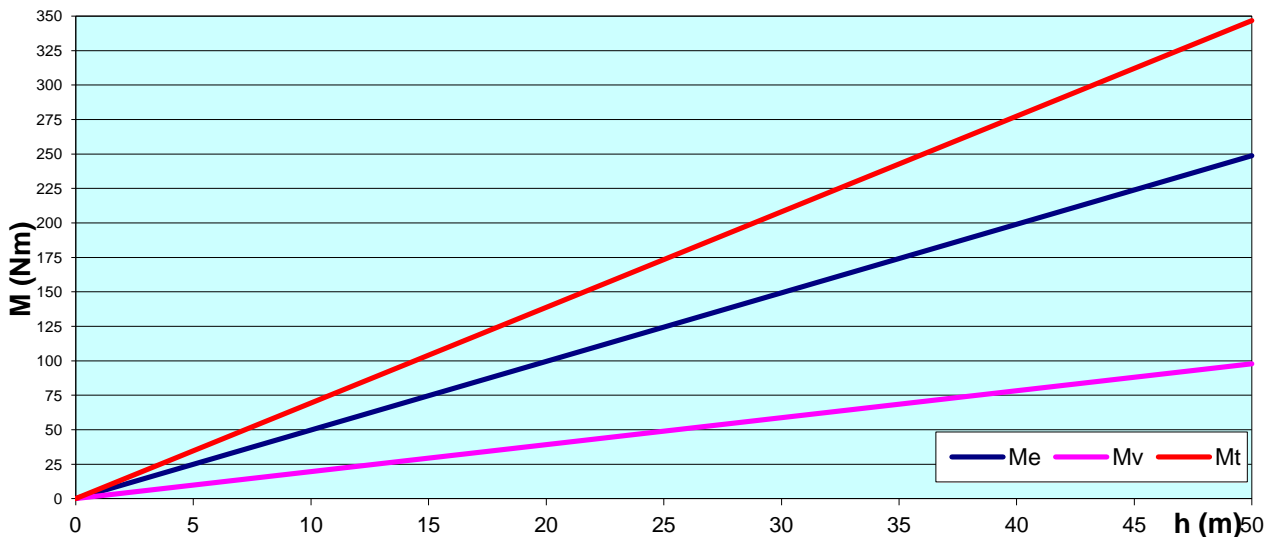
$$M_T \cdot \omega_o = (M_E + M_V) \cdot \omega_o \quad (4.19)$$

Se tiene en cuenta que para el cálculo teórico de la potencia de frenado, la frecuencia de operación es la misma.

El par generado por la carga de la varilla queda definido en la ecuación 4.19, siendo el único término variable el de la longitud de la varilla:

$$M_v = \frac{1}{4} \cdot \rho_{ACERO} \cdot \pi \cdot D_{VARILLA}^2 \cdot h \cdot l_2; \left\{ \begin{array}{l} \rho_{ACERO} = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \\ D_{VARILLA} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ l_2 = 0,225 \text{ m} \end{array} \right\} \quad (4.19)$$

Según esta definición, podemos realizar una aproximación teórica de la relación entre estos trabajos que intervienen en el bombeo, representada en la gráfica 4.7, y que representan a si mismo la tendencia de la potencia necesaria para realizarlo independientemente de la frecuencia desarrollada por el usuario.



**Gráfico 4.7. Curvas de par  $M_E - M_V - M_T$**

Por tanto podemos calcular fácilmente el término de potencia que es necesario desarrollar por el usuario, simplemente para accionar el mecanismo de la bomba, en función de la altura de trabajo que estemos simulando y la frecuencia de bombeo que se ha realizado de la siguiente forma:

$$W_v = \frac{1}{4} \cdot \rho_{ACERO} \cdot \pi \cdot D_{VARILLA}^2 \cdot h \cdot l_2 \cdot \omega_o \quad (4.20)$$

Para la aplicación en el laboratorio, se ha elaborado la tabla 4.14, basándonos en frecuencias típicas de bombeo para facilitar la interpolación de datos.

POTENCIA CONSUMIDA POR CARGA DE VARILLA $W_V$ (Watt)																
$h(m)$	$M_V(Nm)$	Frecuencia de operación $\omega(s^{-1})$														
		0,80	0,77	0,73	0,70	0,67	0,63	0,60	0,57	0,53	0,50	0,47	0,43	0,40	0,37	0,33
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1,96	1,57	1,50	1,44	1,37	1,31	1,24	1,17	1,11	1,04	0,98	0,91	0,85	0,78	0,72	0,65
2	3,92	3,13	3,00	2,87	2,74	2,61	2,48	2,35	2,22	2,09	1,96	1,83	1,70	1,57	1,44	1,31
3	5,87	4,70	4,50	4,31	4,11	3,92	3,72	3,52	3,33	3,13	2,94	2,74	2,54	2,35	2,15	1,96
4	7,83	6,26	6,00	5,74	5,48	5,22	4,96	4,70	4,44	4,18	3,92	3,65	3,39	3,13	2,87	2,61
5	9,79	7,83	7,50	7,18	6,85	6,53	6,20	5,87	5,55	5,22	4,89	4,57	4,24	3,92	3,59	3,26
6	11,75	9,40	9,01	8,61	8,22	7,83	7,44	7,05	6,66	6,26	5,87	5,48	5,09	4,70	4,31	3,92
7	13,70	10,96	10,51	10,05	9,59	9,14	8,68	8,22	7,77	7,31	6,85	6,39	5,94	5,48	5,02	4,57
8	15,66	12,53	12,01	11,48	10,96	10,44	9,92	9,40	8,87	8,35	7,83	7,31	6,79	6,26	5,74	5,22
9	17,62	14,09	13,51	12,92	12,33	11,75	11,16	10,57	9,98	9,40	8,81	8,22	7,63	7,05	6,46	5,87
10	19,58	15,66	15,01	14,36	13,70	13,05	12,40	11,75	11,09	10,44	9,79	9,14	8,48	7,83	7,18	6,53
11	21,53	17,23	16,51	15,79	15,07	14,36	13,64	12,92	12,20	11,48	10,77	10,05	9,33	8,61	7,90	7,18
12	23,49	18,79	18,01	17,23	16,44	15,66	14,88	14,09	13,31	12,53	11,75	10,96	10,18	9,40	8,61	7,83
13	25,45	20,36	19,51	18,66	17,81	16,97	16,12	15,27	14,42	13,57	12,72	11,88	11,03	10,18	9,33	8,48
14	27,41	21,93	21,01	20,10	19,18	18,27	17,36	16,44	15,53	14,62	13,70	12,79	11,88	10,96	10,05	9,14
15	29,36	23,49	22,51	21,53	20,56	19,58	18,60	17,62	16,64	15,66	14,68	13,70	12,72	11,75	10,77	9,79
16	31,32	25,06	24,01	22,97	21,93	20,88	19,84	18,79	17,75	16,71	15,66	14,62	13,57	12,53	11,48	10,44
17	33,28	26,62	25,51	24,41	23,30	22,19	21,08	19,97	18,86	17,75	16,64	15,53	14,42	13,31	12,20	11,09
18	35,24	28,19	27,02	25,84	24,67	23,49	22,32	21,14	19,97	18,79	17,62	16,44	15,27	14,09	12,92	11,75
19	37,19	29,76	28,52	27,28	26,04	24,80	23,56	22,32	21,08	19,84	18,60	17,36	16,12	14,88	13,64	12,40
20	39,15	31,32	30,02	28,71	27,41	26,10	24,80	23,49	22,19	20,88	19,58	18,27	16,97	15,66	14,36	13,05
21	41,11	32,89	31,52	30,15	28,78	27,41	26,04	24,67	23,30	21,93	20,56	19,18	17,81	16,44	15,07	13,70
22	43,07	34,45	33,02	31,58	30,15	28,71	27,28	25,84	24,41	22,97	21,53	20,10	18,66	17,23	15,79	14,36
23	45,03	36,02	34,52	33,02	31,52	30,02	28,52	27,02	25,51	24,01	22,51	21,01	19,51	18,01	16,51	15,01
24	46,98	37,59	36,02	34,45	32,89	31,32	29,76	28,19	26,62	25,06	23,49	21,93	20,36	18,79	17,23	15,66
25	48,94	39,15	37,52	35,89	34,26	32,63	31,00	29,36	27,73	26,10	24,47	22,84	21,21	19,58	17,94	16,31
26	50,90	40,72	39,02	37,33	35,63	33,93	32,24	30,54	28,84	27,15	25,45	23,75	22,06	20,36	18,66	16,97
27	52,86	42,28	40,52	38,76	37,00	35,24	33,48	31,71	29,95	28,19	26,43	24,67	22,90	21,14	19,38	17,62
28	54,81	43,85	42,02	40,20	38,37	36,54	34,72	32,89	31,06	29,23	27,41	25,58	23,75	21,93	20,10	18,27
29	56,77	45,42	43,52	41,63	39,74	37,85	35,96	34,06	32,17	30,28	28,39	26,49	24,60	22,71	20,82	18,92
30	58,73	46,98	45,03	43,07	41,11	39,15	37,19	35,24	33,28	31,32	29,36	27,41	25,45	23,49	21,53	19,58
31	60,69	48,55	46,53	44,50	42,48	40,46	38,43	36,41	34,39	32,37	30,34	28,32	26,30	24,27	22,25	20,23
32	62,64	50,12	48,03	45,94	43,85	41,76	39,67	37,59	35,50	33,41	31,32	29,23	27,15	25,06	22,97	20,88
33	64,60	51,68	49,53	47,37	45,22	43,07	40,91	38,76	36,61	34,45	32,30	30,15	27,99	25,84	23,69	21,53
34	66,56	53,25	51,03	48,81	46,59	44,37	42,15	39,94	37,72	35,50	33,28	31,06	28,84	26,62	24,41	22,19
35	68,52	54,81	52,53	50,25	47,96	45,68	43,39	41,11	38,83	36,54	34,26	31,97	29,69	27,41	25,12	22,84
36	70,47	56,38	54,03	51,68	49,33	46,98	44,63	42,28	39,94	37,59	35,24	32,89	30,54	28,19	25,84	23,49
37	72,43	57,95	55,53	53,12	50,70	48,29	45,87	43,46	41,04	38,63	36,22	33,80	31,39	28,97	26,56	24,14
38	74,39	59,51	57,03	54,55	52,07	49,59	47,11	44,63	42,15	39,67	37,19	34,72	32,24	29,76	27,28	24,80
39	76,35	61,08	58,53	55,99	53,44	50,90	48,35	45,81	43,26	40,72	38,17	35,63	33,08	30,54	27,99	25,45
40	78,31	62,64	60,03	57,42	54,81	52,20	49,59	46,98	44,37	41,76	39,15	36,54	33,93	31,32	28,71	26,10
41	80,26	64,21	61,53	58,86	56,18	53,51	50,83	48,16	45,48	42,81	40,13	37,46	34,78	32,11	29,43	26,75
42	82,22	65,78	63,04	60,30	57,55	54,81	52,07	49,33	46,59	43,85	41,11	38,37	35,63	32,89	30,15	27,41
43	84,18	67,34	64,54	61,73	58,92	56,12	53,31	50,51	47,70	44,89	42,09	39,28	36,48	33,67	30,87	28,06
44	86,14	68,91	66,04	63,17	60,30	57,42	54,55	51,68	48,81	45,94	43,07	40,20	37,33	34,45	31,58	28,71
45	88,09	70,47	67,54	64,60	61,67	58,73	55,79	52,86	49,92	46,98	44,05	41,11	38,17	35,24	32,30	29,36
46	90,05	72,04	69,04	66,04	63,04	60,03	57,03	54,03	51,03	48,03	45,03	42,02	39,02	36,02	33,02	30,02
47	92,01	73,61	70,54	67,47	64,41	61,34	58,27	55,21	52,14	49,07	46,00	42,94	39,87	36,80	33,74	30,67
48	93,97	75,17	72,04	68,91	65,78	62,64	59,51	56,38	53,25	50,12	46,98	43,85	40,72	37,59	34,45	31,32
49	95,92	76,74	73,54	70,34	67,15	63,95	60,75	57,55	54,36	51,16	47,96	44,76	41,57	38,37	35,17	31,97
50	97,88	78,31	75,04	71,78	68,52	65,25	61,99	58,73	55,47	52,20	48,94	45,68	42,42	39,15	35,89	32,63

Tabla 4.14. Potencia por carga de varilla  $W_T$



#### 4.5.4. Aplicación práctica

Durante el trabajo en el laboratorio, como hemos indicado anteriormente, sólo efectuaremos el trabajo útil correspondiente al esfuerzo necesario para generar caudal, excepto en la instalación demostrativa (sin presurizar) en la que se trabaja con un desnivel de 4 metros, con su tramo correspondiente de varilla, que consideraremos despreciable en este y en el resto de los casos teóricos formulados, ya que genera un par menor que el creado por el peso de la palanca.

Por medio de la tabla anterior (tabla 4.14), se puede extraer el término de la expresión 4.17 que nos faltaba conocer para hallar el esfuerzo teórico que se realizaría al trabajar con un sistema real de bombeo.

Conocida la altura de trabajo, se establece un margen de tiempo para la realización del test, durante la operación de bombeo se contabilizarán las carreras completas del cilindro y se calculará la frecuencia de bombeo mediante el cociente 4.21. Interpolando en la tabla 4.14 con estos parámetros extraemos el término  $W_v$ .

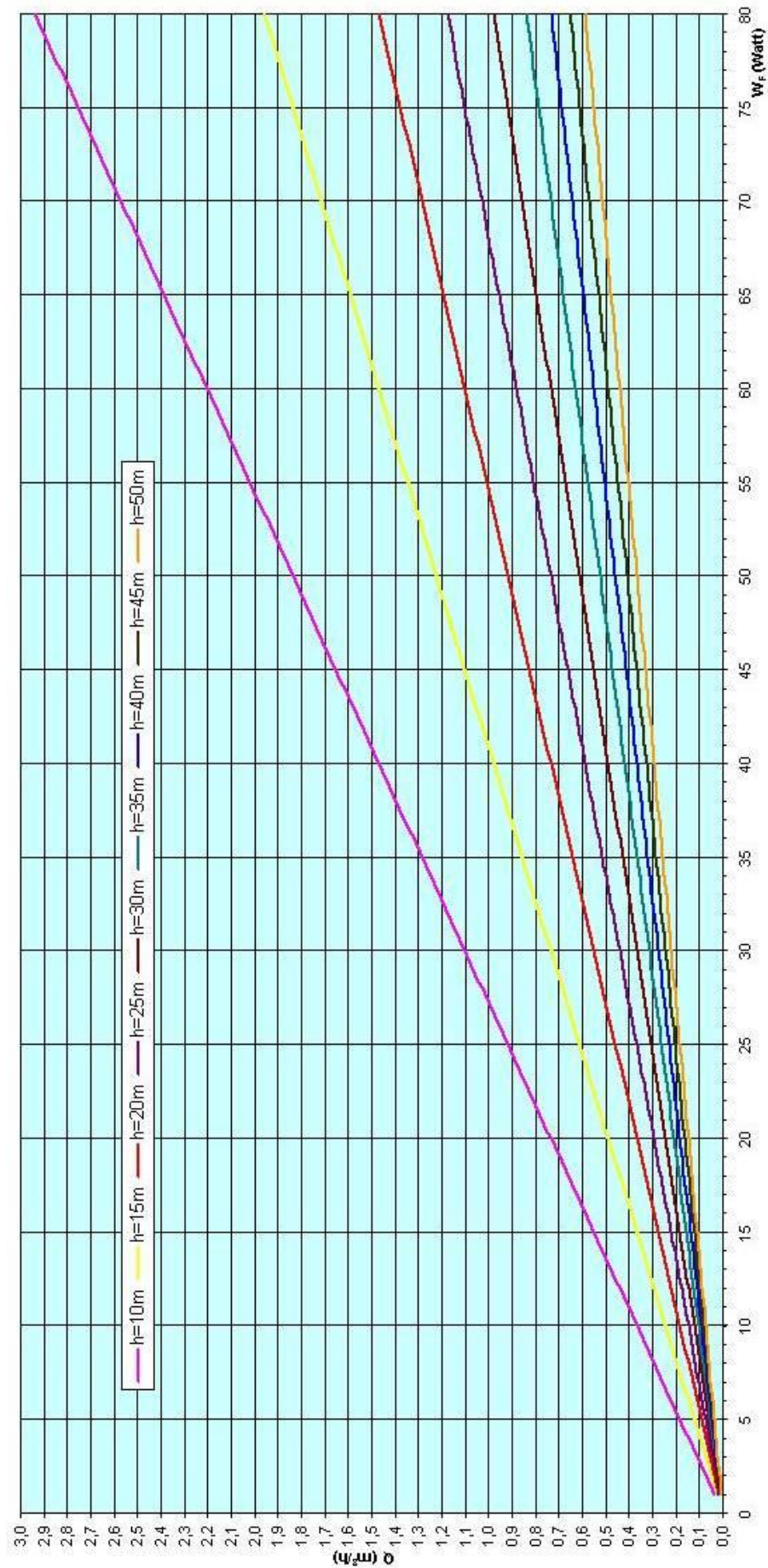
$$\omega = \frac{\text{carreras completadas}}{\text{tiempo de operación}} s^{-1} \quad (4.21)$$

Conocido el caudal generado durante el ensayo, podemos calcular el trabajo efectivo  $W_{EI}$  ideal mediante la siguiente fórmula de la potencia:

$$W_{EI} = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h \cdot Q \quad (4.22)$$

##### 4.5.4.1. Diferencial de caudal

Como vemos en la expresión 4.22, la potencia y el caudal están relacionados, de manera que podemos traducir el término de potencia desarrollada para accionar el mecanismo en un diferencial de caudal referido al caudal que se dejaría de generar al destinar un porcentaje importante de potencia a elevar la varilla.

Gráfico 4.7. Caudal equivalente para  $W_v$

El caudal  $Q_T$  generado durante el ensayo nos da información a cerca de la potencia total  $W_T$  que ha desarrollado el sujeto, ya que empleará toda su energía en generar ese caudal, por lo tanto  $W_T$  será igual a  $W_{EI}$  calculada mediante la expresión 4.22.

Por medio de la tabla 4.14 se calculará  $W_V(h, \omega_o)$  y recurriendo a la gráfica 4.7 obtenemos el caudal diferencial que debemos restar al caudal total para obtener el caudal útil  $Q_u$  y poder calcular el trabajo real efectivo  $W_E$  de forma teórica mediante la expresión 4.23:

$$W_E = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h \cdot Q_u \quad (4.23)$$

#### 4.5.5. Simulación alternativa: Sobre-presión

Podemos simular físicamente el incremento de carga producido por el peso de la varilla produciendo un efecto de sobre-presión en el circuito por medio de la válvula de seguridad.

El incremento de presión equivalente, proporcional a la altura, se calcula utilizando la expresión 4.23, y los resultados, para profundidades típicas, se representan en la tabla 4.15:

$$\Delta P_V = \rho_{ACERO} \cdot g \cdot h \cdot \left( \frac{D_{VARILLA}}{D_{PISTÓN}} \right)^2 \quad (4.23)$$

$h$ (m)	$\Delta P_V$ (bar)
10	0,386
15	0,578
20	0,771
25	0,964
30	1,157
35	1,350
40	1,542
45	1,735
50	1,928

**Tabla 4.15. Incremento de presión equivalente**

La presión máxima que es capaz de ser generada por la válvula de presión instalada (Art. 3190 Genebre S.L.) es de 16 bares, por lo que el sistema es capaz de aportar la presión necesaria, pero tanto el circuito de presurización, como la junta de sellado, están diseñados para trabajar a una presión máxima de 10 bares, lo que hace que no se garantice la estabilidad de ambos conjuntos cuando se trabaja a cotas elevadas.

## 4.6. Ensayo 4. Relación esfuerzo realizado por el usuario respecto del caudal útil obtenido

Con el presente capítulo se pretende dejar constancia de aspectos básicos de funcionamiento, referentes a la primera operación de puesta en marcha de la bomba Afridev, que corroboren de forma empírica y bajo unas condiciones básicas de funcionamiento las tendencias esperadas que se han descrito tanto en este proyecto, como en los anteriores trabajos de Jaime Arroyo (Jaime Arroyo, 2006) y Tomillo (Tomillo, 2006) en relación a la respuesta que ofrece este sistema de bombeo frente a la actuación por parte de un usuario.

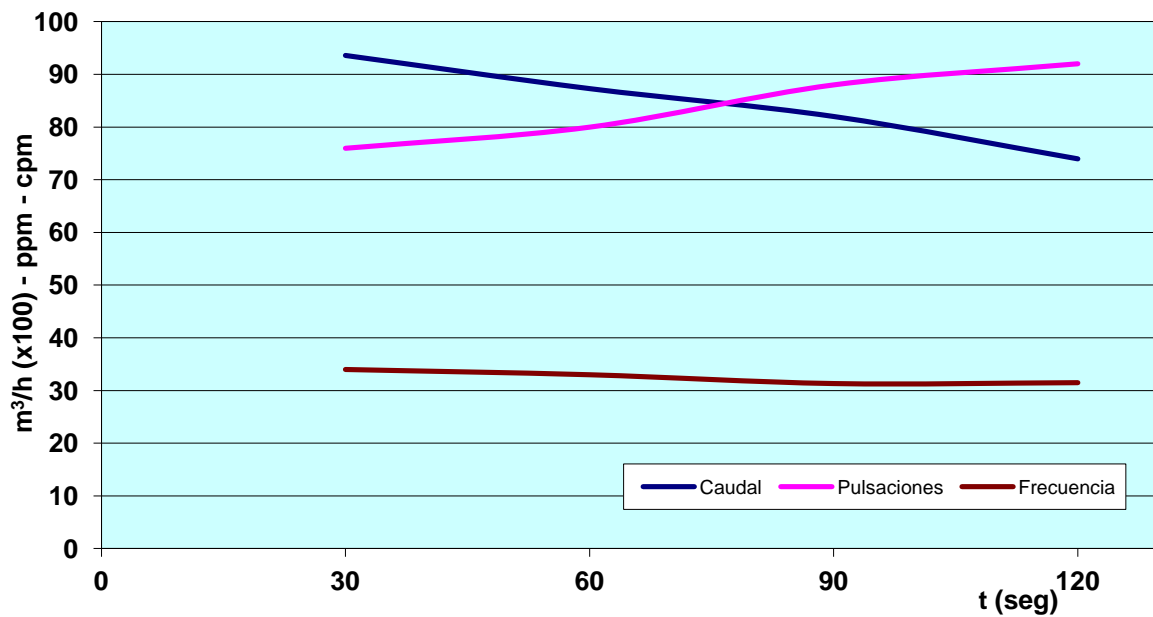
Cabe destacar que el efecto de succión que se produce en la válvula de presión obliga a que el circuito deba purgarse cada determinado número de repeticiones, haciendo poco fiables los resultados obtenidos bajo estas condiciones, luego sólo se reflejarán datos obtenidos sobre la instalación demostrativa. Este problema se resolverá en la continuación de este proyecto.

### 4.6.1. Influencia del tiempo de bombeo

El tiempo de bombeo afecta a la capacidad de desarrollar potencia por parte del usuario, para contrastar la variación del rendimiento se realiza un test en el que se suceden tandas bajo un incremento del tiempo de trabajo, recogiendo distintos factores como son la frecuencia cardiaca, la frecuencia de bombeo y el caudal al final de cada serie, obteniéndose los siguientes datos:

<b><i>T (seg)</i></b>	<b><i>h (m)</i></b>	<b><i>l1</i></b>	<b><i>Q (x100) (m<sup>3</sup>/h)</i></b>	<b><i>Pulsaciones (ppm)</i></b>	<b><i>Frecuencia (cpm)</i></b>
30	4	p1	93,6	76	34
60	4	p1	87,3	80	33
90	4	p1	82	88	31,3
120	4	p1	73,95	92	31,5

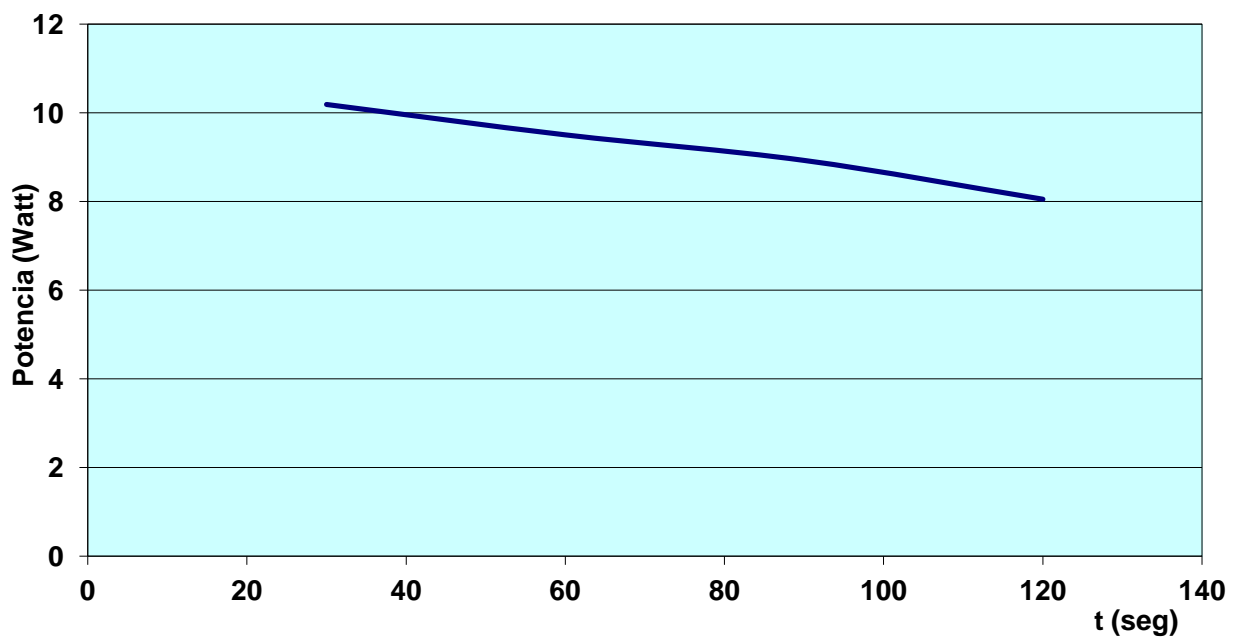
**Tabla 4.16. Resultados del test de funcionamiento**



**Gráfico 4.8. Evolución de los parámetros de esfuerzo**

Podemos observar que cuanto mayor sea el tiempo de actuación, el caudal generado desciende significativamente, y consecuentemente lo hará la potencia desarrollada, según queda constatado en el gráfico 4.9.

La causa de la bajada de rendimiento en el usuario destaca en el aumento de la frecuencia cardíaca, indicador de que el trabajo supone un aporte de energía importante.



**Gráfico 4.9. Evolución de la potencia desarrollada**

Como se recoge en el trabajo realizado por Tomillo (Tomillo, 2006), reflejado en la tabla 4.16, el porcentaje de potencia desarrollado por un usuario, durante un periodo de bombeo menor de 15 minutos, con respecto a su capacidad nominal se mantiene constante, pero en la práctica, el usuario dosifica su esfuerzo en función de la carga de trabajo esperada disminuyendo la frecuencia de operación y por lo tanto rebajando el caudal generado.

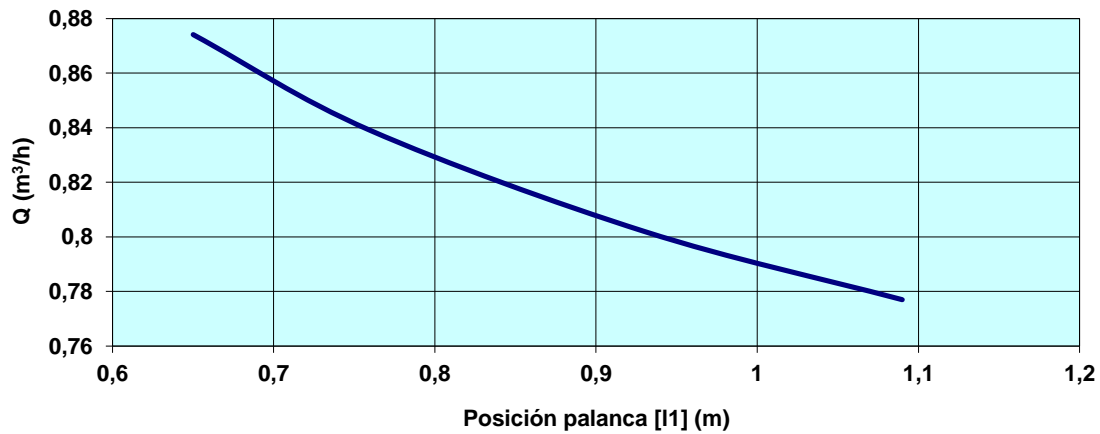
%		Hombre					Mujer				
Edad		<14	14-20	20-30	30-40	>40	<14	14-20	20-30	30-40	>40
		75	90	100	90	75	85	90	100	85	70
Distancia media a la fuente	< 5min	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<60min	80	90	95	90	80	80	90	95	85	75
	>60min	60	70	80	80	65	60	70	80	75	60
Tiempo de bombeo	<15min	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<30min	80	90	95	90	75	80	90	95	85	70
	>30min	60	70	80	80	65	60	70	80	75	60
Ergonomía del equipo	Media	90	95	100	95	90	90	95	100	90	85
	Baja	85	90	95	90	85	85	90	95	85	80
Temperaturas	Altas	85	90	95	90	85	85	90	95	85	80
Humedad relativa	Alta	80	90	95	90	85	80	90	95	85	80
Alimentación	Mala	80	90	95	90	85	80	90	95	85	80
Condición física	Mala	80	90	95	90	85	80	90	95	85	80

**Tabla 4.16. Porcentaje de potencia desarrollable respecto al valor nominal bajo distintos factores (Tomillo, 2006)**

Observamos que la influencia de la frecuencia de operación tiene un peso muy importante en el caudal generado, y un descenso del 7% en el número de paladas produce una caída del 22% en el caudal producido según los datos obtenidos, por lo que conviene prestar especial atención a realizar el trabajo con una configuración de la bomba adecuada al esfuerzo a realizar.

Podemos manejar el par que inducimos a la bomba con la longitud de la palanca, para adaptarlo al esfuerzo teórico.

En nuestro ensayo con la instalación demostrativa, se varía la longitud  $l_1$  de la palanca obteniéndose la siguiente tendencia del caudal con respecto a la posición de trabajo:



**Gráfico 4.10. Variación del caudal con la posición de la palanca**

Del resultado obtenido se deduce que en nuestro caso, la longitud más corta de la palanca se adapta mejor al esfuerzo requerido por la altura de trabajo.

En futuros ensayos con la bomba se espera poder trabajar con rangos de profundidad mayores, y poder establecer un mapa de funcionamiento completo según estos parámetros de trabajo.



## **5. CONCLUSIONES Y CONTINUACIÓN**

Este proyecto supone el punto de partida de la puesta en marcha del laboratorio de bombas manuales de la Universidad Carlos III de Madrid, y al mismo tiempo culmina con los objetivos desarrollados por Unai Tomillo “Estudio Acerca del Empleo de la Bomba Manual en el Ámbito Rural en Países en Vías de Desarrollo” y Jaime Arroyo “Diseño de un Banco de Ensayos de Bombas Manuales” en sus respectivos PFC.

Por tanto, puede decirse que el presente proyecto supone el cierre de una importante fase a cerca de la concepción del laboratorio, y abre una nueva etapa encaminada a obtener resultados técnicos y aplicables sobre los equipos sometidos a estudio.

El objetivo a medio y largo plazo es conseguir desarrollar un laboratorio pionero en España que trabaje a un nivel similar o superior a los únicos laboratorios existentes en el mundo, el de la SKAT en Suiza, el del Banco mundial en Reino Unido y el ACH francés, y producir resultados aplicables que supongan un nuevo impulso en la mejora de los sistemas manuales de bombeo.

El alto nivel de uso de estos sistemas a nivel mundial, estimado en más de una sexta parte de la población total, el aumento del desequilibrio en el acceso a los recursos acuciado por la grave crisis económica global y variaciones climatológicas debido al calentamiento global, hace que el progreso en esta área sea de una gran importancia para garantizar un mínimo de calidad de vida a más de mil millones de seres humanos según han destacado agencias de desarrollo en diversos informes.

Las principales aportaciones de este proyecto a la conclusión de estos objetivos son la verificación de la calidad según norma de los equipos que serán sometidos a estudio, y el diseño e implementación de una infraestructura adecuada que permita realizar un trabajo en condiciones óptimas con los equipos para que sea posible en el futuro obtener resultados de gran fiabilidad que supongan un incremento en la mejora de estos sistemas.

Tras la conclusión de este proyecto en el que se ha realizado una verificación de las características funcionales de la instalación de la bomba Afridev, el primer objetivo a cumplir es el de identificar posibles puntos de mejora con el fin de obtener el máximo rendimiento posible de la instalación y aplicarlos.

Una vez dada por cerrada la instalación de pruebas los trabajos en el laboratorio se dirigirán hacia tres áreas:

- Mejoras de ingeniería; soluciones mecánicas y estudio de materiales que mejoren la calidad y fiabilidad de los sistemas.
- Relación bomba – usuario; analizar el trabajo realizado por el usuario y el rendimiento de bombeo obtenido, que produzca mejoras ergonómicas, de diseño o concepto en las máquinas.
- Instrucción y demostración; colaborar con asociaciones de cooperación y desarrollo formándoles en los sistemas y actuar como portal para la concienciación sobre la importancia de estos sistemas.

La continuación de este proyecto abre por tanto una vía esencial para el desarrollo de los sistemas manuales de bombeo de agua, en los que el margen de mejora es significativamente amplio, y que sumado al resto de campos de trabajo que se realizarán en el laboratorio de tecnologías del agua de la Universidad Carlos III de Madrid se espera que se vean traducidos en una mejora significativa en el futuro de miles de personas en todo el mundo.

## **6. REFERENCIAS UTILIZADAS**

José María Hernández Krahe. (2009). Mecánica de fluidos y Máquinas hidráulicas. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Erpf, Karl. (2002). Afridev Handpump Specification, Revision 4-2002. SKAT – HTN Publication.

Erpf, Karl. (2009). Maintenance Card for Afridev Handpumps, Revision 1-2009. RWSN Publication.

Erpf, Karl. (2003). Moulds for Afridev Rubber Components (Technical Drawings). 2003 First Edition. SKAT – HTN Publication.

Arun Mudgal & Sampath Kumar. (1992). Packagin Gide Lines for Afridev. Revision 1-1992. SKAT Publication.

Erpf, Karl. (1997). Malda Direct Action Handpump Specification, Revision 2-2005, by Karl Erpf. SKAT – RWSN Publication.

Erpf, Karl. (2003). Installation and Maintenance Manual for the Malda Handpump, Revision 0-2003. SKAT – HTN Publication.

Erpf, Karl. (2005). The Rope Pump Concept. RWNS – SKAT Publication.

Tomillo Gutiérrez, Unai. (2006). Estudio a cerca del empleo de la Bomba Manual de agua en el ámbito rural en países en vías de desarrollo. PFC Universidad Carlos III de Madrid.

Arrollo Fernández-Raña, Jaime. (2006). Diseño de un banco de ensayos de Bombas Manuales. PFC Universidad Carlos III de Madrid.

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2005). Capability Building for Catching-up “Historical, empirical and policy dimensions”. Industrial Development Report 2005. UNIDO Publication.

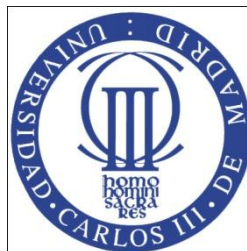
United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2011). Economic Development in Africa “Fostering Development in Africa in the New Gloval Enviroment”. Report 2011. UNIDO Publication.

Crespo Martínez, Antonio. (2006). Mecánica de Fluidos. E.T.S.I. Industriales Universidad Politécnica de Madrid. Thomson Editores Spain.

Franco García, Ángel. (2010). Curso Interactivo de Física en Internet. Euskal Herriko Unibertsitatea.

# **ANEXO I**

## UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



*Instalación de pruebas para bomba Afridev, 2011 /  
Afridev handpump test instalation, 2011*

## **PLANOS DE INGENIERÍA DE LA INSTALACIÓN /** **ENGINEERING DRAWINGS OF THE INSTALATION**

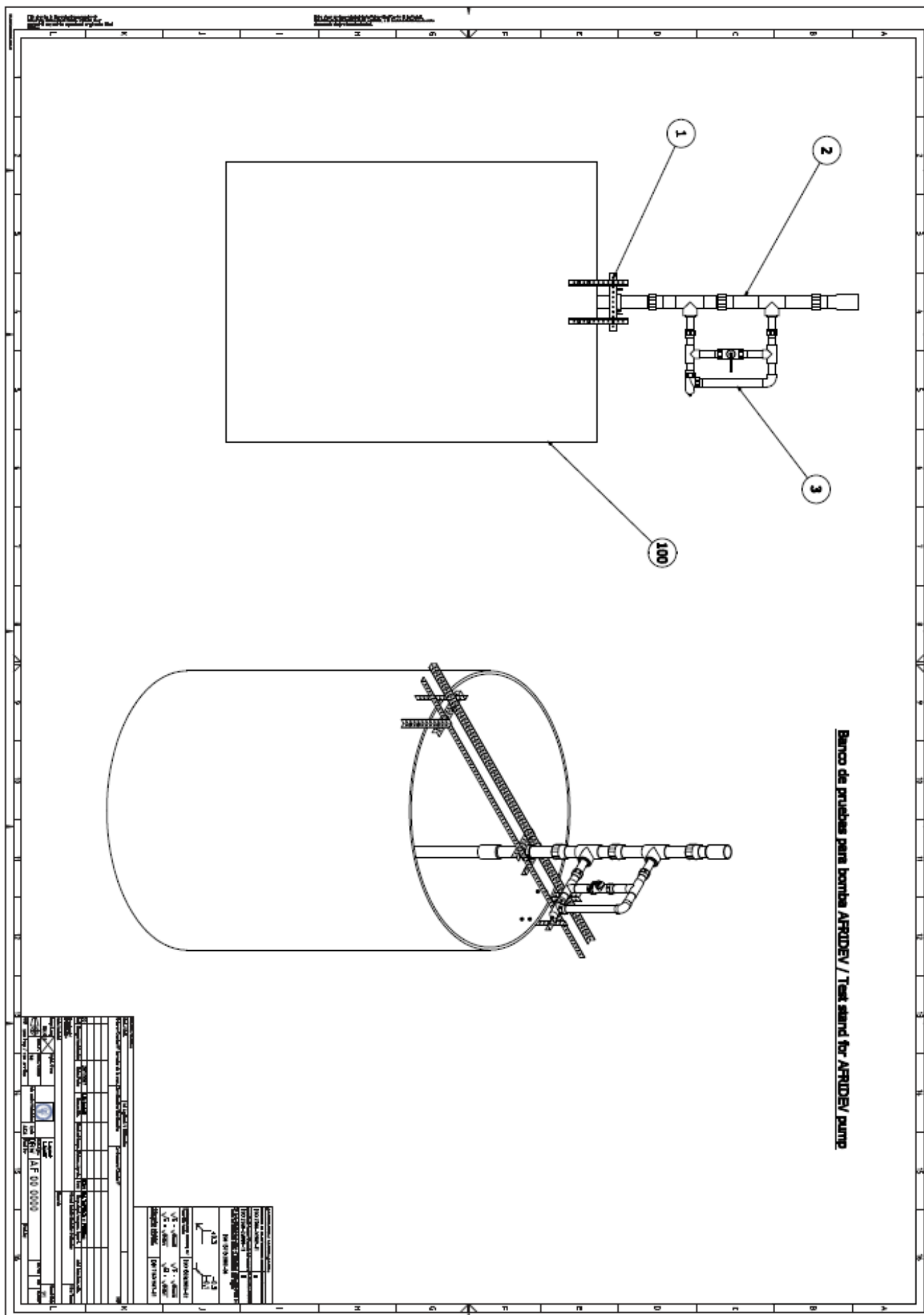
**• Nomenclatura / Nomenclature:**


- En las listas de materiales, las siguientes abreviaturas se corresponden con:
- In the parts list, the following abbreviations means:

<b>D</b>	Pieza de desgaste / Replaceable part
<b>U</b>	Utillaje / Contact part
<b>M</b>	Elemento mecánico / Mechanical part
<b>PRT</b>	Pieza / Piece
<b>CJT</b>	Conjunto / Assembly
<b>COM</b>	Elemento commercial / Commercial part

**• Sistema de numeración / Numbering system:**

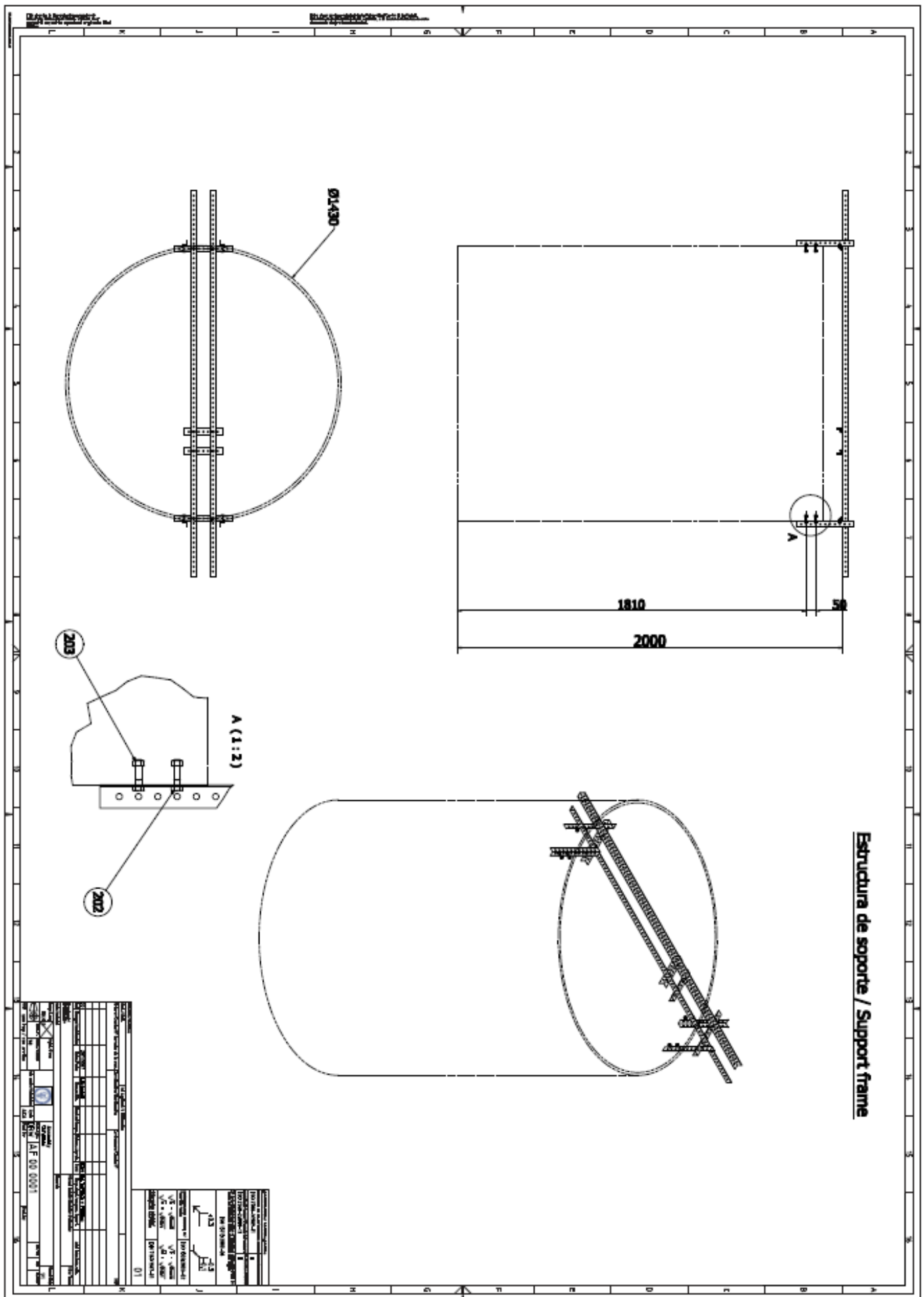
- Todos los componentes tienen una referencia única de 8-dígitos / Every component has its own unique 8-digits reference
- Para las piezas manufacturadas corresponden referencias entre AF 00 0000 – AF 99 9999 / Manufactured parts has references between AF 00 0000 – AF 99 9999
- Para comerciales no normalizados 100 00 000 – 199 99 999 / For comercial parts non-standardized between 100 00 000 – 199 99 999
- Para comerciales normalizados 200 00 000 – 299 99 999 / For comercial and standardized parts between 200 00 000 – 299 99 999

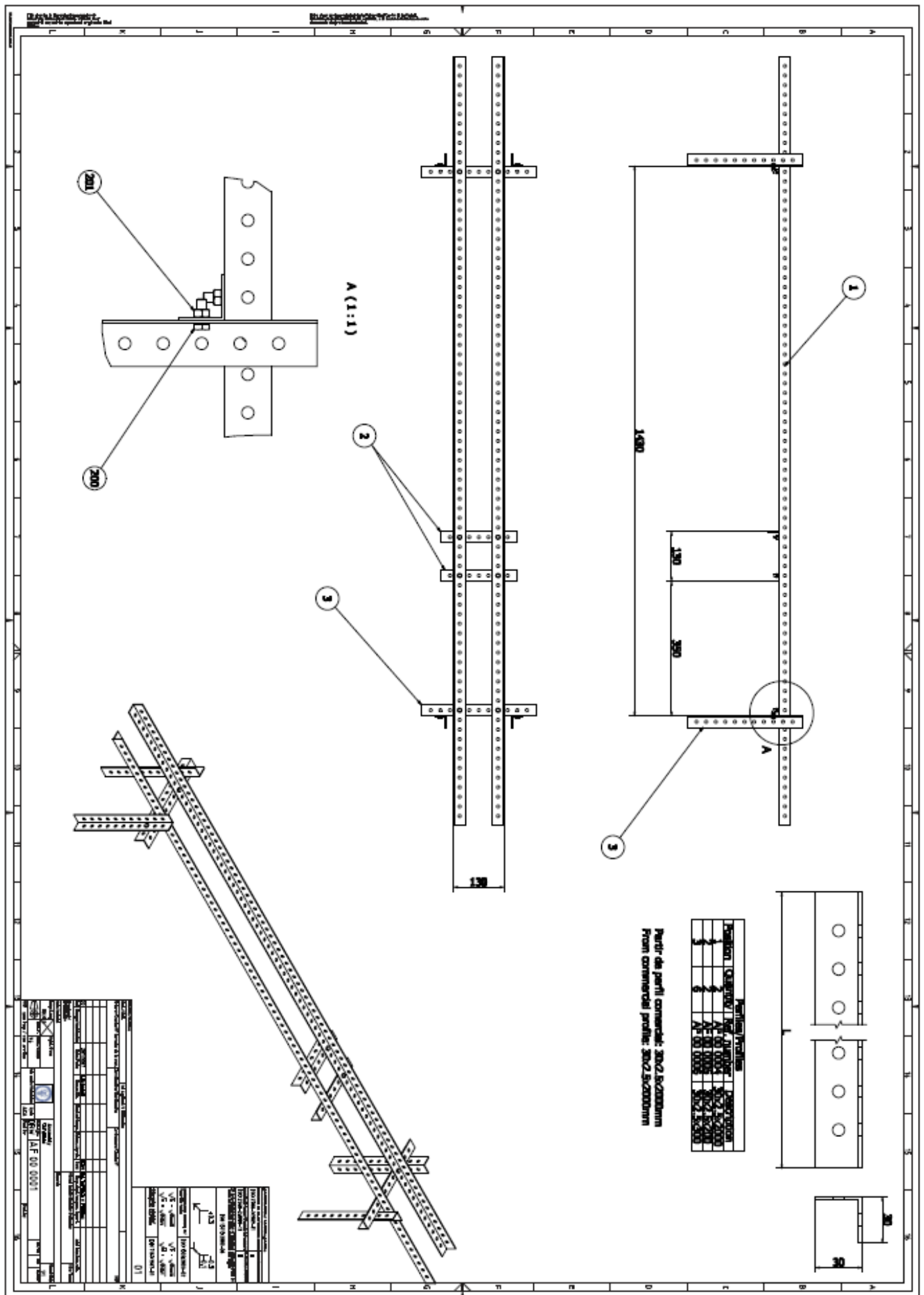



<b>LISTA DE PIEZAS / PARTS LIST</b>	Proyecto/Project: <b>Caracterización de bombas manuales</b>		
	Dpt./Dpart.: <b>Ingeniería térmica y fluidos</b>		
Proyectista/Designer	Ignacio Esperón Rodríguez		Fecha/Date: 2011-10-07
Revisado/Checked	Ulpiano Ruiz Rivas		
<b>CONJUNTO / ASSEMBLY:</b>	<b>AF 00 0000</b>		De/From:

Nº/ Nu.	Cant /Q	Tip./ Class	Descripción/ Description	D	U	M	Referencia/ Refference	Frabricante/ Manufacturer
1	1	CJT	<b>Estructura</b> Tech: Spf.:			x	<b>AF 00 0001</b>	UC3M
2	1	CJT	<b>Sistema de ascensión</b> Tech: Spf.:		x		<b>AF 00 0002</b>	UC3M
3	1	CJT	<b>Sistema de presurización</b> Tech: Spf.:		x		<b>AF 00 0003</b>	UC3M
100	1	PRT	<b>Depósito</b> Tech: DN1430x1900 Spf.:		x		<b>100 00 000</b>	AIQSA
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					

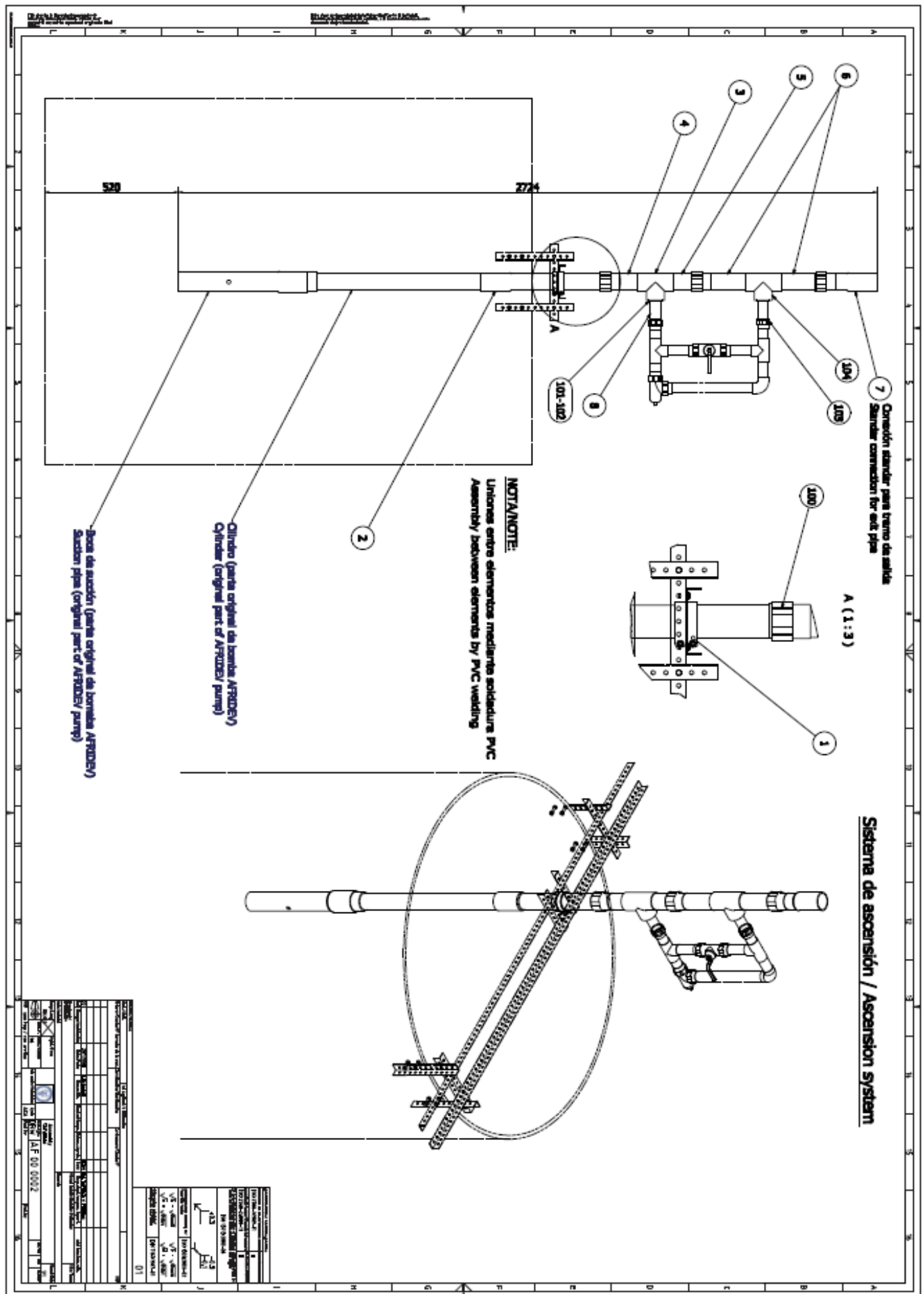







<b>LISTA DE PIEZAS / PARTS LIST</b>	Proyecto/Project: <b>Caracterización de bombas manuales</b>		
	Dpt./Dpart.: <b>Ingeniería térmica y fluidos</b>		
Proyectista/Designer	Ignacio Esperón Rodríguez		Fecha/Date: 2011-10-07
Revisado/Checked	Ulpiano Ruiz Rivas		
<b>CONJUNTO / ASSEMBLY:</b>	<b>AF 00 0001</b>		De/From: AF000000

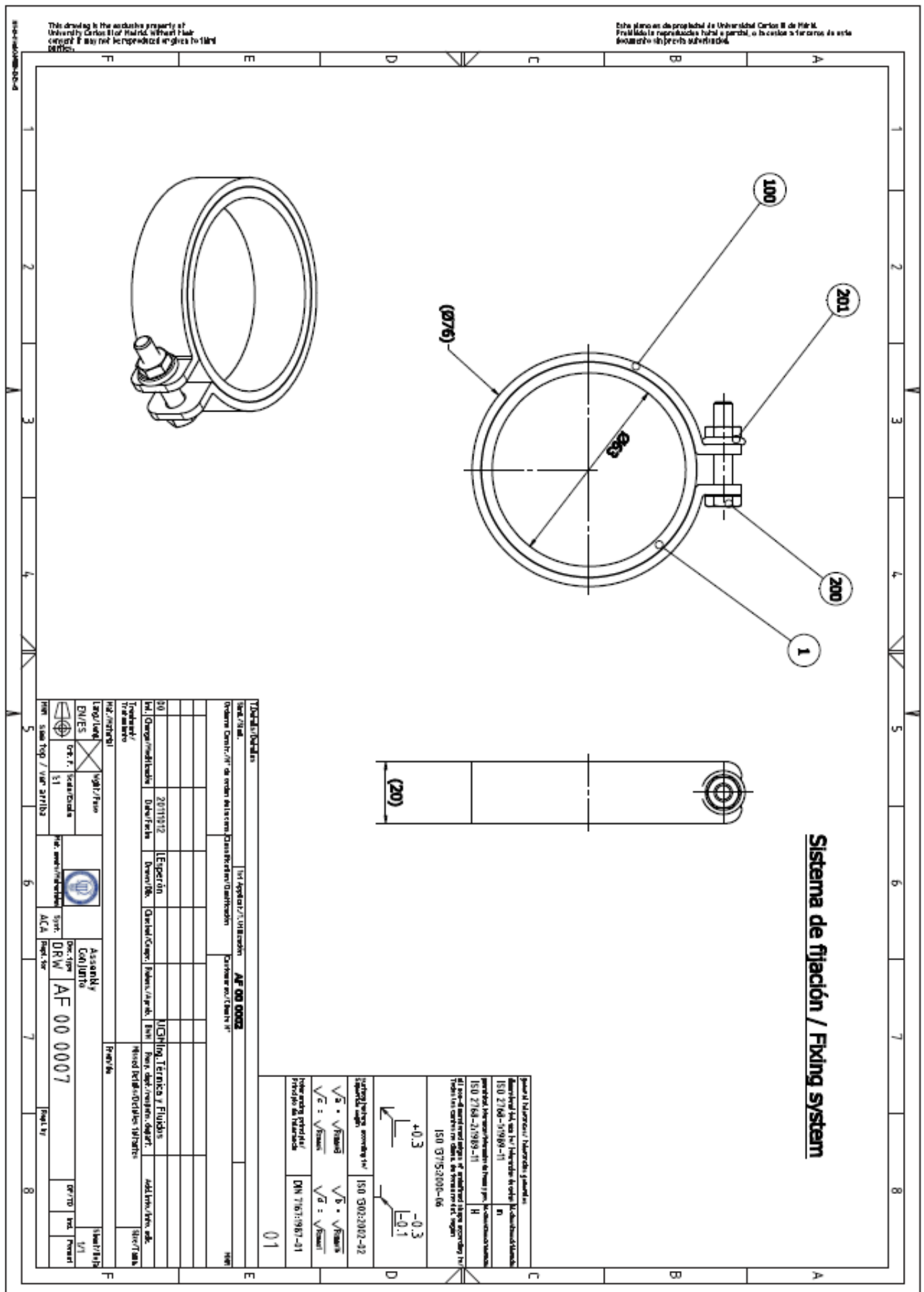
Nº/ Nu.	Cant /Q	Tip./ Class	Descripción/ Description	D	U	M	Referencia/ Refference	Frabricante/ Manufacturer
1	2	PRT	<b>Perfil</b> Tech: Spf.: 30x2.5x2000			x	<b>AF 00 0004</b>	UC3M
2	2	PRT	<b>Perfil</b> Tech: Spf.: 30x2.5x2000			x	<b>AF 00 0005</b>	UC3M
3	2	PRT	<b>Perfil</b> Tech: Spf.: 30x2.5x2000			x	<b>AF 00 0006</b>	UC3M
200	8	COM	<b>Tornillo</b> Tech: DIN EN 24017-M6x16 Spf.:			x	<b>200 00 000</b>	
201	8	COM	<b>Tuerca</b> Tech: ISO4032-M6 Spf.:			x	<b>200 00 001</b>	
202	4	COM	<b>Tornillo</b> Tech: ISO4018-M8x35 Spf.:			x	<b>200 00 002</b>	
203	4	COM	<b>Tuerca</b> Tech: ISO4033-M8 Spf.:			x	<b>200 00 003</b>	
			Tech: Spf.:					




<b>LISTA DE PIEZAS / PARTS LIST</b>	Proyecto/Project: <b>Caracterización de bombas manuales</b>		
	Dpt./Dpart.: <b>Ingeniería térmica y fluidos</b>		
Proyectista/Designer	Ignacio Esperón Rodríguez		Fecha/Date: 2011-10-07
Revisado/Checked	Ulpiano Ruiz Rivas		
<b>CONJUNTO / ASSEMBLY:</b>	<b>AF 00 0002</b>		De/From: AF 00 0000

Nº/ Nu.	Cant /Q	Tip./ Class	Descripción/ Description	D	U	M	Referencia/ Refference	Frabricante/ Manufacturer
1	2	CJT	<b>Sistema de fijación</b> Tech: Spf.: Fijación a estructura			x	AF 00 0007	UC3M
2	1	PRT	<b>Conector PVC</b> Tech: Spf.:		x		AF 00 0008	UC3M
3	1	CJT	<b>Sistema de sellado</b> Tech: Spf.:		x		AF 00 0009	UC3M
4	1	PRT	<b>Tubo PVC</b> Tech: DN63x4.7x140 Spf.:		x		AF 00 0010	UC3M
5	1	PRT	<b>Tubo PVC</b> Tech: DN63x4.7x122 Spf.:				AF 00 0011	UC3M
6	2	PRT	<b>Tubo PVC</b> Tech: DN63x4.7x204 Spf.:				AF 00 0012	UC3M
7	1	PRT	<b>Conector PVC</b> Tech: Spf.: Conexión tramo salida				AF 00 0013	UC3M
8	2	PRT	<b>Tubo PVC</b> Tech: DN40x2x120 Spf.:				AF 00 0014	UC3M

Nº/ Nu.	Cant /Q	Tip./ Class	Descripción/ Description	D	U	M	Referencia/ Refference	Frabricante/ Manufacturer
<b>100</b>	<b>3</b>	<b>COM</b>	<b>Empalme roscado</b> Tech: Spf.: Unión 3 piezas 63 P		<b>x</b>		<b>100 00 001</b>	N/S
<b>101</b>	<b>2</b>	<b>COM</b>	<b>Casquillo reductor</b> Tech: Spf.: Casquillos reductor 63 50		<b>x</b>		<b>100 00 002</b>	N/S
<b>102</b>	<b>2</b>	<b>COM</b>	<b>Casquillo reductor</b> Tech: Spf.: Casquillos reductor 50 40		<b>x</b>		<b>100 00 003</b>	N/S
<b>103</b>	<b>2</b>	<b>COM</b>	<b>Empalme roscado</b> Tech: Spf.: Unión 3 piezas 40 P		<b>x</b>		<b>100 00 004</b>	N/S
<b>104</b>	<b>1</b>	<b>COM</b>	<b>Conexión TE</b> Tech: Spf.: TE presión 63 P		<b>x</b>		<b>100 00 005</b>	N/S
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					

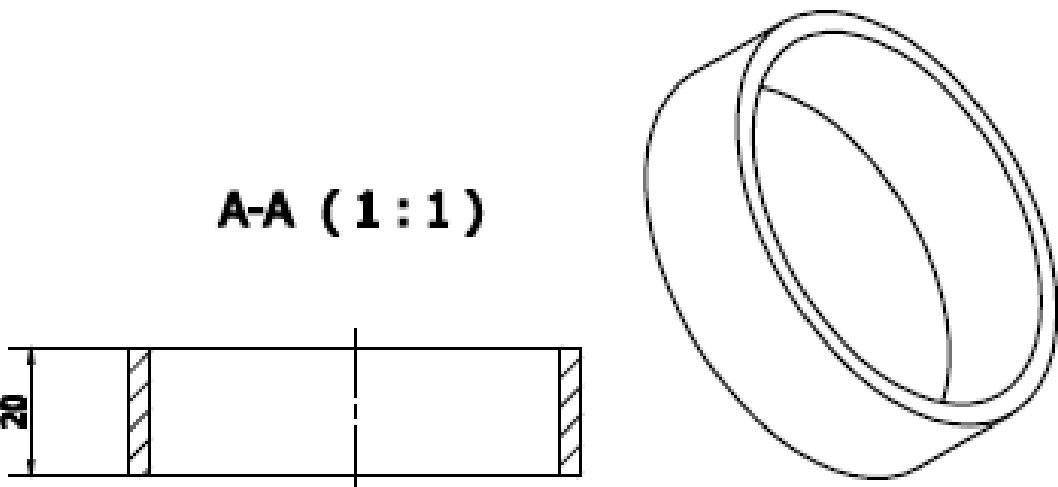
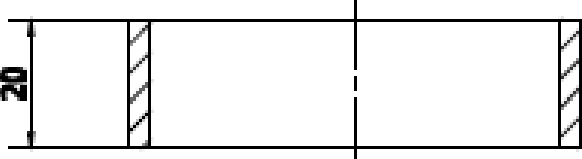
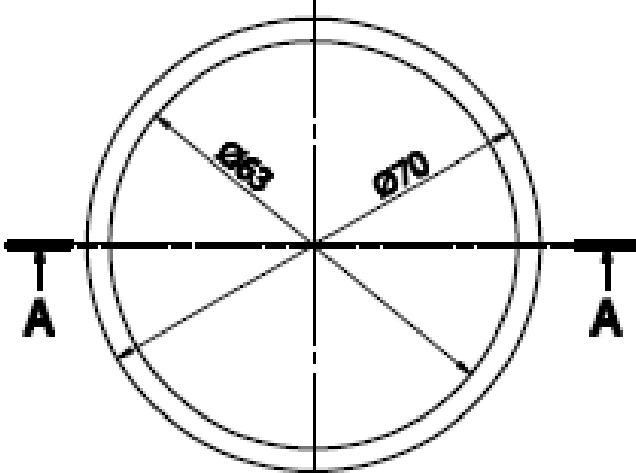





<b>LISTA DE PIEZAS / PARTS LIST</b>	Proyecto/Project: <b>Caracterización de bombas manuales</b>		
	Dpt./Dpart.: <b>Ingeniería térmica y fluidos</b>		
Proyectista/Designer	Ignacio Esperón Rodríguez		Fecha/Date: 2011-10-12
Revisado/Checked	Ulpiano Ruiz Rivas		
<b>CONJUNTO / ASSEMBLY:</b>	<b>AF 00 0007</b>		De/From: AF 00 0002

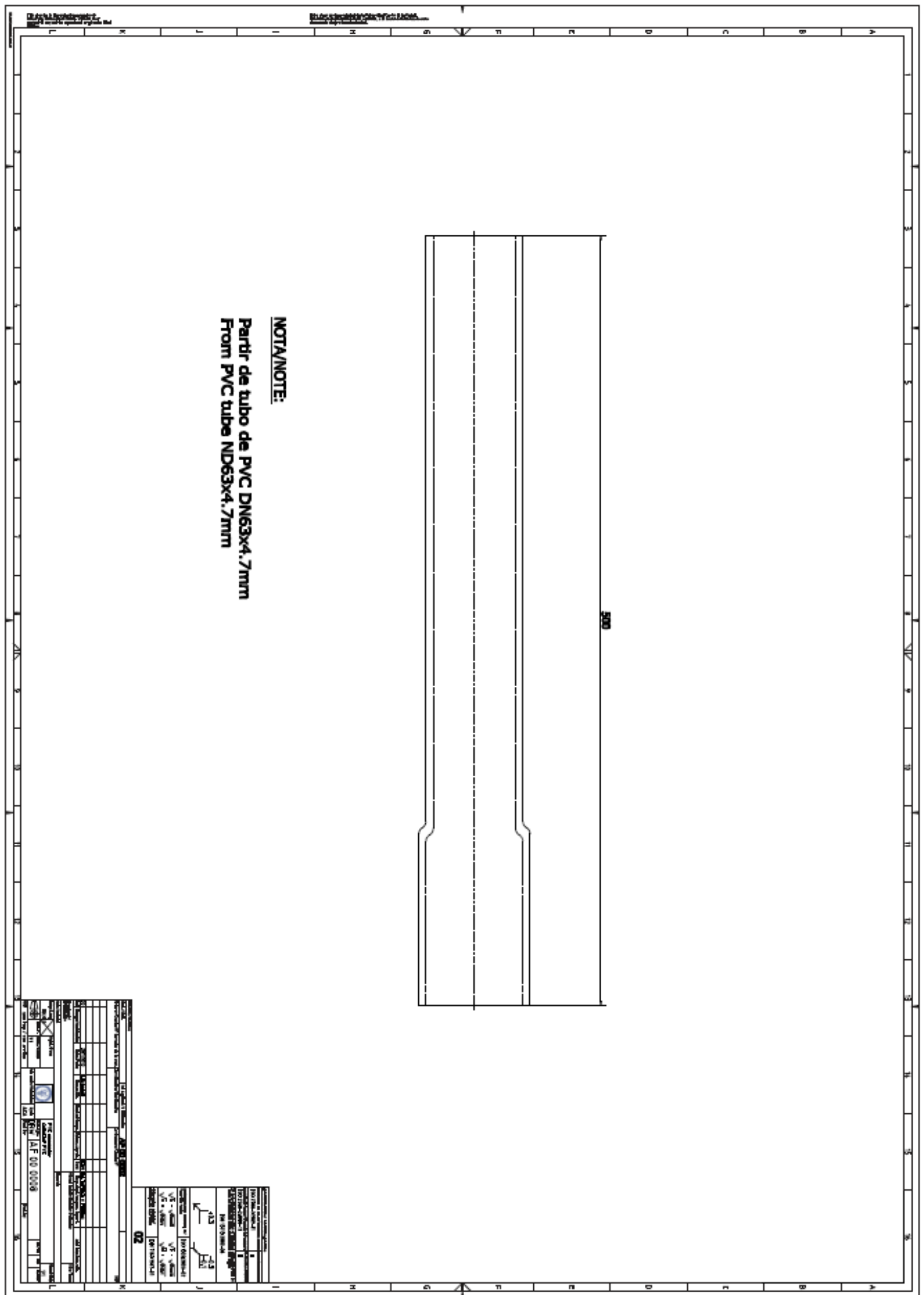
Nº/ Nu.	Cant /Q	Tip./ Class	Descripción/ Description	D	U	M	Referencia/ Refference	Frabricante/ Manufacturer
1	2	PRT	<b>Goma de contacto</b> Tech: Spf.:			x	<b>AF 00 0018</b>	UC3M
100	2	COM	<b>Arandela</b> Tech: DN60 Spf.:			x	<b>100 00 007</b>	N/S
200	2	COM	<b>Tornillo</b> Tech: ISO4017 – M6x30 Spf.:			x	<b>200 00 004</b>	
201	2	COM	<b>Tuerca</b> Tech: DIN EN 1661 – M6 Spf.:			x	<b>200 00 005</b>	
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					

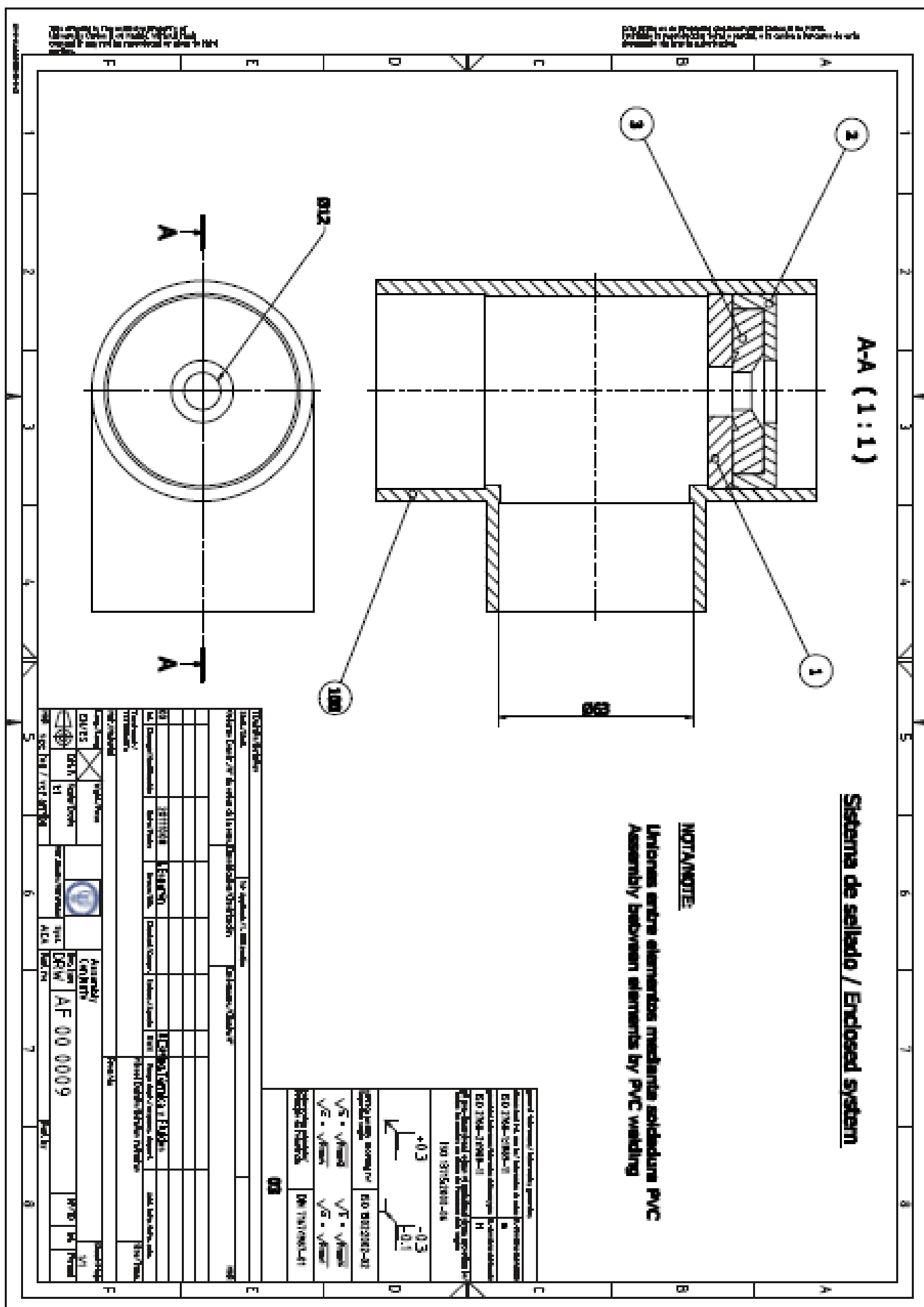



Este documento es propiedad de la Universidad Carlos III de Madrid. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad.

1	2	3	4																																																																																								
A																																																																																											
B	<p style="font-size: 24px; font-weight: bold;">A-A (1:1)</p>																																																																																										
C																																																																																											
D																																																																																											
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">general tolerances / tolérances générales</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">dimensional int. acc. to / tolérances en des points ISO 2768-5:1989-11</td> <td style="width: 50%;">tol. dimension de l'épaisseur H</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">general tol. int. acc. to / tolérances de forme y pos. ISO 2768-2:1989-11</td> <td style="width: 50%;">tol. dimension de l'épaisseur H</td> </tr> <tr> <td colspan="2">all acc. class according to / tolérances shapes according to / Tous les cotes en classe de tolérance en des points ISO 13715:2000-06</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2">surface finish acc. according to / l'épaisseur de la rugosité</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">ISO 1302:2002-02</td> </tr> <tr> <td><math>\sqrt{a} = \sqrt{R_{max}}</math></td> <td><math>\sqrt{b} = \sqrt{R_{max}}</math></td> </tr> <tr> <td><math>\sqrt{c} = \sqrt{R_{max}}</math></td> <td><math>\sqrt{d} = \sqrt{R_{max}}</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2">tolerancing period plus / Principe de tolérances</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">DIN 7167:1987-01</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">01</td> </tr> </table>		general tolerances / tolérances générales		dimensional int. acc. to / tolérances en des points ISO 2768-5:1989-11	tol. dimension de l'épaisseur H	general tol. int. acc. to / tolérances de forme y pos. ISO 2768-2:1989-11	tol. dimension de l'épaisseur H	all acc. class according to / tolérances shapes according to / Tous les cotes en classe de tolérance en des points ISO 13715:2000-06				surface finish acc. according to / l'épaisseur de la rugosité		ISO 1302:2002-02		$\sqrt{a} = \sqrt{R_{max}}$	$\sqrt{b} = \sqrt{R_{max}}$	$\sqrt{c} = \sqrt{R_{max}}$	$\sqrt{d} = \sqrt{R_{max}}$	tolerancing period plus / Principe de tolérances		DIN 7167:1987-01		01																																																																	
general tolerances / tolérances générales																																																																																											
dimensional int. acc. to / tolérances en des points ISO 2768-5:1989-11	tol. dimension de l'épaisseur H																																																																																										
general tol. int. acc. to / tolérances de forme y pos. ISO 2768-2:1989-11	tol. dimension de l'épaisseur H																																																																																										
all acc. class according to / tolérances shapes according to / Tous les cotes en classe de tolérance en des points ISO 13715:2000-06																																																																																											
																																																																																											
surface finish acc. according to / l'épaisseur de la rugosité																																																																																											
ISO 1302:2002-02																																																																																											
$\sqrt{a} = \sqrt{R_{max}}$	$\sqrt{b} = \sqrt{R_{max}}$																																																																																										
$\sqrt{c} = \sqrt{R_{max}}$	$\sqrt{d} = \sqrt{R_{max}}$																																																																																										
tolerancing period plus / Principe de tolérances																																																																																											
DIN 7167:1987-01																																																																																											
01																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Tolerances / Tolérances</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mat. / Mat.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Tol. Appl. int. / Tol. Appl. int.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">AF 00 0007</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">AF 00 0007</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Ordre de Cote / Ord. de cotes de tolérance / Classification / Classification</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Continuance / Continuance</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">HMM</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">HMM</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">00</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">20111009</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Especión</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">MCH</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Inv.</td> <td style="text-align: center;">Charge / Mod. Headin</td> <td style="text-align: center;">Info / Fiche</td> <td style="text-align: center;">Drawn / Dib.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Checked / Compr.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Released / Approb.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">BHM</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Pomp. depl. / Asperm. depl. / F.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Add. Info. / Info. add.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Add. Info. / Info. add.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Treated / Treated</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mixed De bit / Petalles tolérances</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mat. / Mat. tolér.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fret / Fret</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">VULCORAN</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fret / Fret</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Long. / Long.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Weight / Poids</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">EN / ES</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">rubber gomme</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Cot. P.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Scale / Echelle</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">1:1</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mat. acc. / Mat. acc.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Syst.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">ACA</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">ACA</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">HMM</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Rep. by</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">see top / voir arriba</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Rep. by</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>				Tolerances / Tolérances				Mat. / Mat.		Tol. Appl. int. / Tol. Appl. int.		AF 00 0007		AF 00 0007		Ordre de Cote / Ord. de cotes de tolérance / Classification / Classification		Continuance / Continuance		HMM		HMM		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">00</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">20111009</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Especión</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">MCH</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Inv.</td> <td style="text-align: center;">Charge / Mod. Headin</td> <td style="text-align: center;">Info / Fiche</td> <td style="text-align: center;">Drawn / Dib.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Checked / Compr.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Released / Approb.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">BHM</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Pomp. depl. / Asperm. depl. / F.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Add. Info. / Info. add.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Add. Info. / Info. add.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Treated / Treated</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mixed De bit / Petalles tolérances</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mat. / Mat. tolér.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fret / Fret</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">VULCORAN</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fret / Fret</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Long. / Long.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Weight / Poids</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">EN / ES</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">rubber gomme</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Cot. P.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Scale / Echelle</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">1:1</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mat. acc. / Mat. acc.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Syst.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">ACA</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">ACA</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">HMM</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Rep. by</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">see top / voir arriba</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Rep. by</td> </tr> </table>				00	20111009	Especión	MCH	Inv.	Charge / Mod. Headin	Info / Fiche	Drawn / Dib.	Checked / Compr.		Released / Approb.		BHM		Pomp. depl. / Asperm. depl. / F.		Add. Info. / Info. add.		Add. Info. / Info. add.		Treated / Treated		Mixed De bit / Petalles tolérances		Mat. / Mat. tolér.		Fret / Fret		VULCORAN		Fret / Fret		Long. / Long.		Weight / Poids		EN / ES		rubber gomme		Cot. P.		Scale / Echelle		1:1		1:1		Mat. acc. / Mat. acc.		Syst.		ACA		ACA		HMM		Rep. by		see top / voir arriba		Rep. by	
Tolerances / Tolérances																																																																																											
Mat. / Mat.		Tol. Appl. int. / Tol. Appl. int.																																																																																									
AF 00 0007		AF 00 0007																																																																																									
Ordre de Cote / Ord. de cotes de tolérance / Classification / Classification		Continuance / Continuance																																																																																									
HMM		HMM																																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">00</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">20111009</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Especión</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">MCH</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Inv.</td> <td style="text-align: center;">Charge / Mod. Headin</td> <td style="text-align: center;">Info / Fiche</td> <td style="text-align: center;">Drawn / Dib.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Checked / Compr.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Released / Approb.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">BHM</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Pomp. depl. / Asperm. depl. / F.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Add. Info. / Info. add.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Add. Info. / Info. add.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Treated / Treated</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mixed De bit / Petalles tolérances</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mat. / Mat. tolér.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fret / Fret</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">VULCORAN</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fret / Fret</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Long. / Long.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Weight / Poids</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">EN / ES</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">rubber gomme</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Cot. P.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Scale / Echelle</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">1:1</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mat. acc. / Mat. acc.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Syst.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">ACA</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">ACA</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">HMM</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Rep. by</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">see top / voir arriba</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Rep. by</td> </tr> </table>				00	20111009	Especión	MCH	Inv.	Charge / Mod. Headin	Info / Fiche	Drawn / Dib.	Checked / Compr.		Released / Approb.		BHM		Pomp. depl. / Asperm. depl. / F.		Add. Info. / Info. add.		Add. Info. / Info. add.		Treated / Treated		Mixed De bit / Petalles tolérances		Mat. / Mat. tolér.		Fret / Fret		VULCORAN		Fret / Fret		Long. / Long.		Weight / Poids		EN / ES		rubber gomme		Cot. P.		Scale / Echelle		1:1		1:1		Mat. acc. / Mat. acc.		Syst.		ACA		ACA		HMM		Rep. by		see top / voir arriba		Rep. by																									
00	20111009	Especión	MCH																																																																																								
Inv.	Charge / Mod. Headin	Info / Fiche	Drawn / Dib.																																																																																								
Checked / Compr.		Released / Approb.																																																																																									
BHM		Pomp. depl. / Asperm. depl. / F.																																																																																									
Add. Info. / Info. add.		Add. Info. / Info. add.																																																																																									
Treated / Treated		Mixed De bit / Petalles tolérances																																																																																									
Mat. / Mat. tolér.		Fret / Fret																																																																																									
VULCORAN		Fret / Fret																																																																																									
Long. / Long.		Weight / Poids																																																																																									
EN / ES		rubber gomme																																																																																									
Cot. P.		Scale / Echelle																																																																																									
1:1		1:1																																																																																									
Mat. acc. / Mat. acc.		Syst.																																																																																									
ACA		ACA																																																																																									
HMM		Rep. by																																																																																									
see top / voir arriba		Rep. by																																																																																									

This drawing is the property of the University of Madrid. No economic exploitation or transformation of this work is permitted. The reproduction in its entirety is allowed.





<b>LISTA DE PIEZAS / PARTS LIST</b>	Proyecto/Project: <b>Caracterización de bombas manuales</b>		
	Dpt./Dpart.: <b>Ingeniería térmica y fluidos</b>		
Proyectista/Designer	Ignacio Esperón Rodríguez		Fecha/Date: 2011-10-10
Revisado/Checked	Ulpiano Ruiz Rivas		
<b>CONJUNTO / ASSEMBLY:</b>	<b>AF 00 0009</b>		De/From: AF 00 0002



Nº/ Nu.	Cant /Q	Tip./ Class	Descripción/ Description	D	U	M	Referencia/ Refference	Frabricante/ Manufacturer
1	1	PRT	<b>Arandela de sellado</b> Tech: Spf.:		x		<b>AF 00 0015</b>	KETERSA
2	1	PRT	<b>Casquillo reductor</b> Tech: Spf.:		x		<b>AF 00 0016</b>	KETERSA
3	1	PRT	<b>Junta de sellado</b> Tech: Spf.:	x			<b>AF 00 0017</b>	SKF
100	1	COM	<b>Conexión TE</b> Tech: Spf.: TE presión 63 P		x		<b>100 00 006</b>	N/S
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					
			Tech: Spf.:					



Título / Title													
Matr. / Mat.			Terc. / Terc. / T. / T. / T. / T.						Matr. / Mat.				
Ordenes / Order / O / O / O / O			Clasificación / Classification			Clasificación / Classification							
60			2011007			Especión			ACM Ing. Técnica y Fluidos				
Ind. / Group / Headline			Fecha / Date			Diseño / Des.			Clasificación / Classification			Adm. / Info. / Info.	
Tratamiento / Treatment									Módulo de trabajo / Details - treatment				Graf. / Graf.
Mat. / Material <b>PVC</b>									Ficha / File				
Lang. / Lang			Weight / Peso			disco / disco			Sheet / Hoja				
EN/ES									1/1				
Crib. P.			Scale / Escala			Dec. type			DP / TD			Ind. / Pormat	
1:1			1:1			DRW			AF 00 0015				
see top / ver arriba			see top / ver arriba			Rep. for			Rep. by				

[illegible]

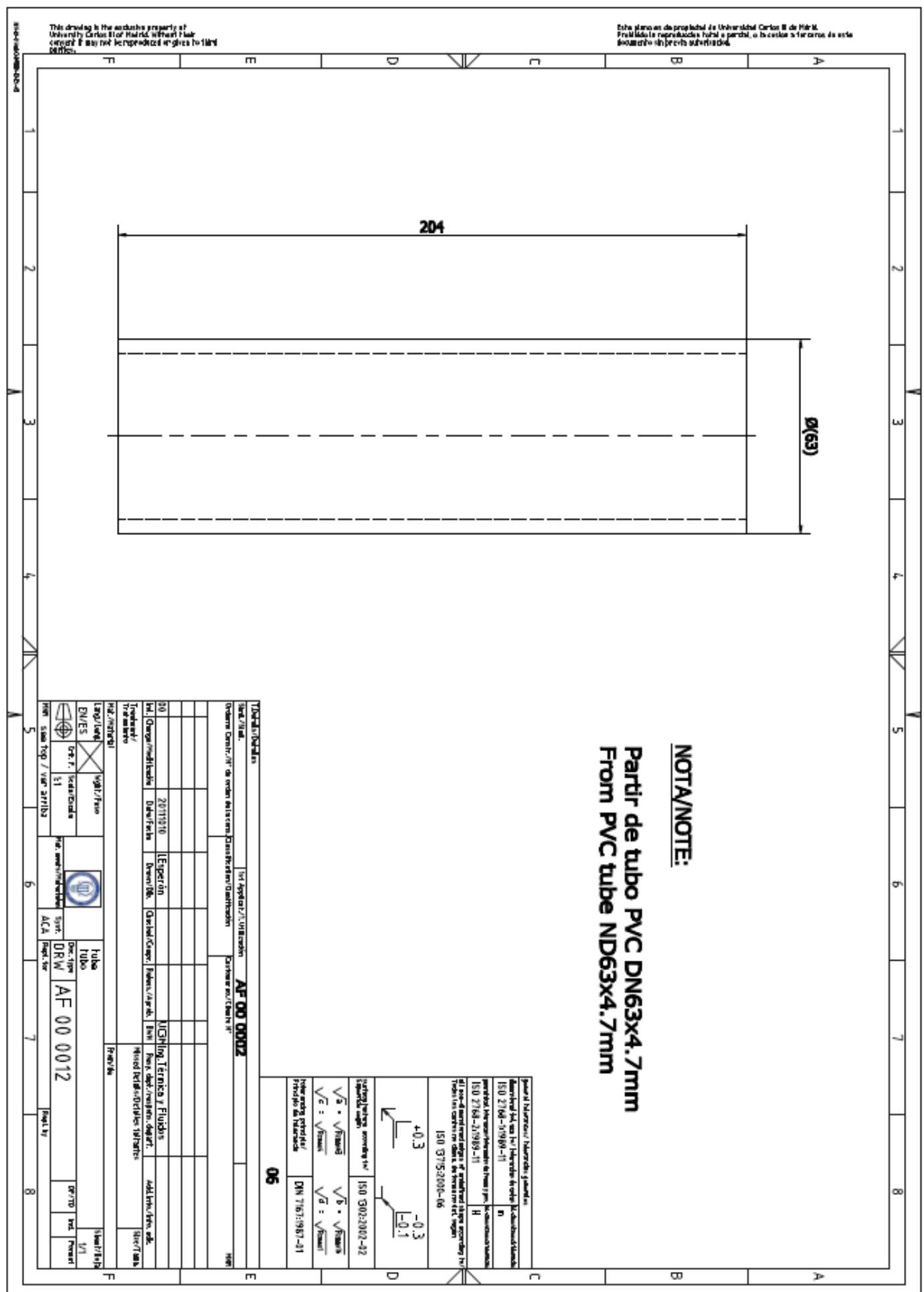


Title Block/Carátula																	
Sheet/Sheet			Part Approval/Parte Aprobación			AP 00 0000											
Order/Order/OT de orden de trabajo			Classification/Clasificación			Description/Descripción											
00			2011007			Espinón			MGM			Ing. Técnica y Fluidos					
Int. Change/Modificación			Date/Fecha		Drawn/Dib.		Checked/Compr.		Released/Aprob.		Rev		Purg. disp./Purgam. disp.		Add. Info./Info. add.		
Treatment/Tratamiento										Mixed Details/Detalles mixtos				Rev/Revis.			
Part/Parte										ECCRUBER 1 (NBR)				Free/De			
Lang./Lang		<input checked="" type="checkbox"/>		Wght./Peso				sealed gasket junta de cierre				Sheet/Sheet		1/1			
EN/ES		<input checked="" type="checkbox"/>		Crt. P.		Scale/Escla		1:1		Dec. type DRW		AF 00 0017		DP/TO		Int. Permit	
		<input checked="" type="checkbox"/>		Rat. exerts/Relaciones		Syst.		ACA		Rpt. for				Rpt. by			
RBR see top / ver arriba																	



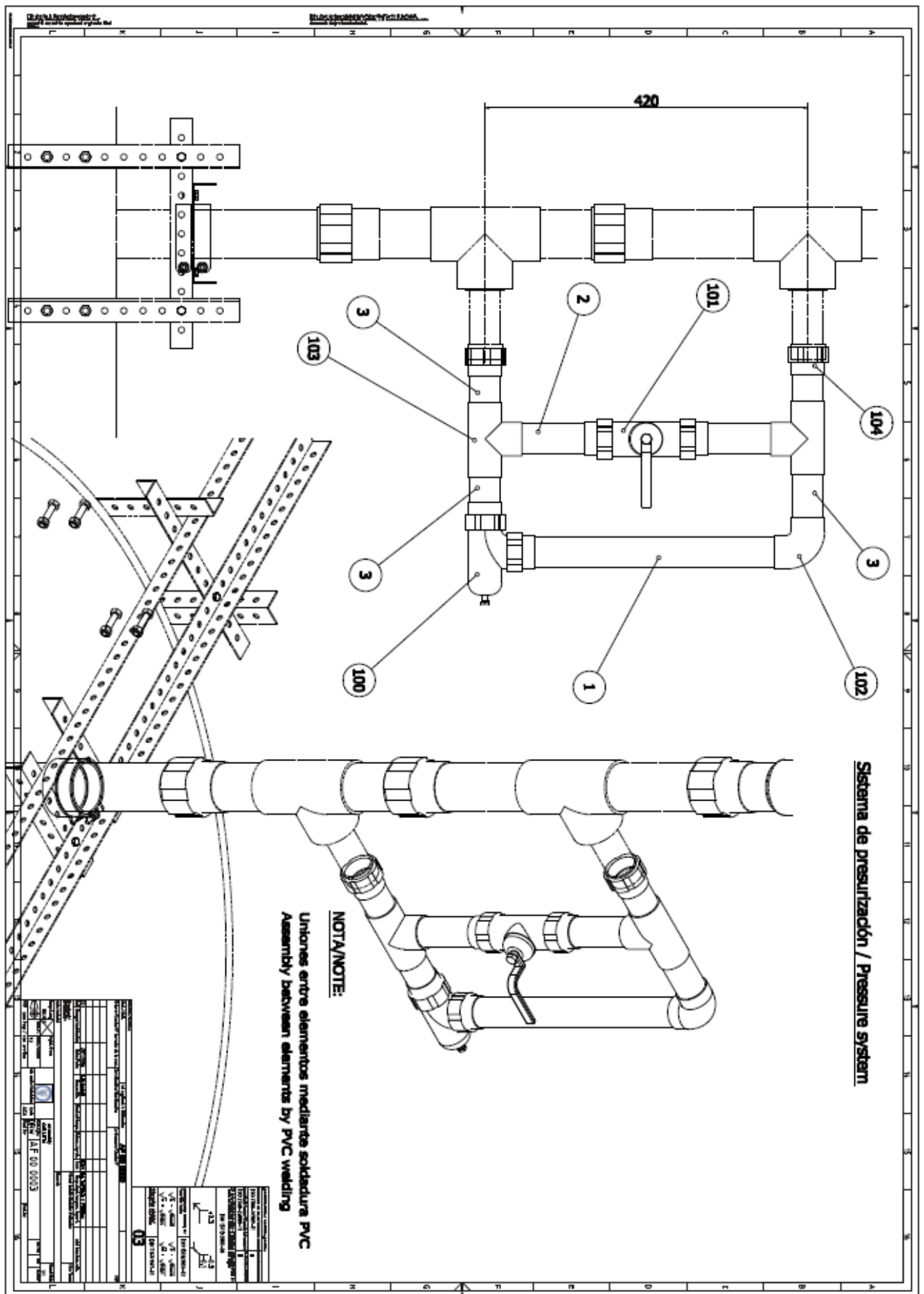


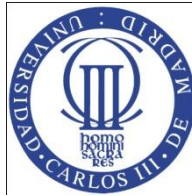






[illegible]



<b>LISTA DE PIEZAS / PARTS LIST</b>	Proyecto/Project: <b>Caracterización de bombas manuales</b>		
	Dpt./Dpart.: <b>Ingeniería térmica y fluidos</b>		
Proyectista/Designer	Ignacio Esperón Rodríguez		Fecha/Date: 2011-10-10
Revisado/Checked	Ulpiano Ruiz Rivas		
<b>CONJUNTO / ASSEMBLY:</b>	<b>AF 00 0003</b>		De/From: AF 00 0000


Nº/ Nu.	Cant /Q	Tip./ Class	Descripción/ Description	D	U	M	Referencia/ Refference	Frabricante/ Manufacturer
1	1	PRT	<b>Tubo PVC</b> Tech: DN40x2x347 Spf.:		x		<b>AF 00 0019</b>	UC3M
2	2	PRT	<b>Tubo PVC</b> Tech: DN40x2x128 Spf.:		x		<b>AF 00 0020</b>	UC3M
3	4	PRT	<b>Tubo PVC</b> Tech: DN40x2x80 Spf.:		x		<b>AF 00 0021</b>	UC3M
100	1	COM	<b>Válvula de presión</b> Tech: Spf.: Válvula de seguridad		x		<b>100 00 008</b>	Vaindusa
101	1	COM	<b>Llave de paso - bola</b> Tech: Spf.:		x		<b>100 00 009</b>	N/S
102	1	COM	<b>Empalme acodado</b> Tech: Spf.: DN40		x		<b>100 00 010</b>	N/S
103	1	COM	<b>Conexión TE</b> Tech: Spf.: TE presión 40 P		x		<b>100 00 011</b>	N/S
104	1	COM	<b>Empalme roscado</b> Tech: Spf.: DN40		x		<b>100 00 012</b>	N/S



[illegible]





<b>Proyecto/Project: Caracterización de bombas manuales</b>	
<b>ELEMENTOS ESTÁNDAR / STANDARD PARTS</b>	

<b>Descripción / Description</b>	<b>Detalles / Details</b>	<b>Stock</b>	<b>Referencia / Reference</b>
Tornillo / Screw	DIN EN 24017-M6x16	-	<b>200 00 000</b>
Tuerca / Nut	ISO 4032-M6	-	<b>200 00 001</b>
Tornillo / Screw	ISO 4018-M8x35	-	<b>200 00 002</b>
Tuerca / Nut	ISO 4033-M8	-	<b>200 00 003</b>
Tornillo / Screw	ISO 4017-M6x30	-	<b>200 00 004</b>
Tuerca / Nut	DIN EN 1661-M6	-	<b>200 00 005</b>